

JORGE RIBASKI

INFLUÊNCIA DA ALGAROBA [*Prosopis juliflora* (SW.) DC.]
SOBRE A DISPONIBILIDADE E QUALIDADE DA FORRAGEM
DE CAPIM-BÚFEL [*Cenchrus ciliaris*] NA REGIÃO
SEMI-ÁRIDA BRASILEIRA

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Engenharia Florestal, Universidade Federal
do Paraná, como requisito parcial à obtenção do
grau e título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Mário Takao Inoue

CURITIBA

2000



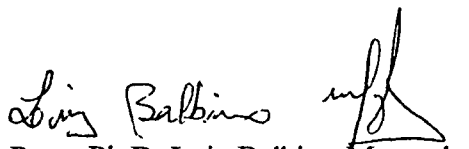
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL

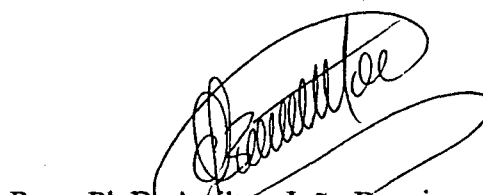
PARECER DE DEFESA DE TESE nº 91

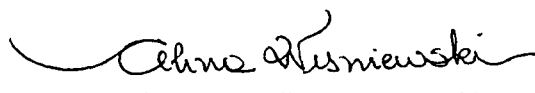
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de **DOUTORADO**, apresentada pelo candidato **JORGE RIBASKI**, sob o título **"INFLUÊNCIA DA ALGAROBA (*Prosopis juliflora* (SW.) DC.) SOBRE A DISPONIBILIDADE E QUALIDADE DA FORRAGEM DE CAPIM-BÚFEL (*Cenchrus ciliaris* L.) NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA BRASILEIRA."** para obtenção do grau de **Doutor** em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **SILVICULTURA**.


Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Tese.


Curitiba, 18 de abril de 2000.


Pesq. Ph.D. Luiz Balbino Morgado
Primeiro Examinador
EMBRAPA/PETROLINA PE


Pesq. Ph.D. Amilton João Baggio
Segundo Examinador
EMBRAPA/CNPFloresta


Profa. Dra. Celina Wisniewski
Terceira Examinadora
UFPR


Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann
Quarto Examinador
UFPR


Prof. Dr. Mario Takao Inoue
Orientador e Presidente da Banca
UFPR



Às pessoas que eu mais amo,
minha esposa Sônia e meus
filhos Nayara, Raphael
e Taciana

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, pela minha liberação para realizar o Curso de Pós-Graduação;

À Escola de Florestas e ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade concedida para cursar o Doutorado em Ciência Florestais;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão de bolsa de estudos, para realização desse estudo;

Às chefias da Embrapa Semi-Árido e Embrapa Florestas, pelo suporte e apoio logístico, que possibilitaram o desenvolvimento desta pesquisa;

Ao Prof. Dr. Mário Takao Inoue, pelos conhecimentos transmitidos, pela orientação e pela amizade;

Ao Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, pela atenção, consideração e valiosa assistência prestada nos trabalhos de co-orientação;

Aos funcionários da Embrapa Semi-Árido que tiveram participação direta e indireta na realização deste trabalho. Em especial aos pesquisadores Martiniano Cavalcante de Oliveira, José Moacir Pinheiro Lima Filho, Eduardo Assis Menezes e Viseldo Ribeiro de Oliveira e ao técnico Geraldo Freire;

Aos pesquisadores da Embrapa Florestas, em especial à Osmir José Lavoranti e Edilson Batista de Oliveira, pelo apoio durante as análises estatísticas dos dados, e à Rivail Salvador Lourenço e Helton Damin da Silva, pela revisão do texto e sugestões;

Aos funcionários da biblioteca e do laboratório de análise de solos e plantas da Embrapa Florestas, pelo apoio prestado;

Aos colegas de curso, em especial aos amigos Emerson Gonçalves Martins e Edinelson José Maciel Neves, pelo agradável convívio durante o curso;

Enfim, à todos aqueles que me apoiaram e permaneceram a meu lado ao longo dessa jornada, meus mais sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

JORGE RIBASKI, filho de Estanislau Ribaski e Estanislava Stanula Ribaski, nasceu em Curitiba, Estado do Paraná, em 15 de maio de 1953.

Em 1978, graduou-se em Engenharia Florestal, pela Escola de Florestas da Universidade Federal do Paraná.

Em maio de 1979, assumiu o cargo de pesquisador no Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido – Embrapa Semi-Árido, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, localizado em Petrolina, Pernambuco.

Realizou seu Curso de Mestrado em Ciência Florestal, no período de 1984 a 1986, na Universidade Federal de Viçosa.

Em 1995, iniciou o Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, a nível de Doutorado, na Universidade Federal do Paraná.

Em 1997, foi transferido da Embrapa Semi-Árido para o Centro Nacional de Pesquisa de Florestas – Embrapa Florestas.

SUMÁRIO

| | Pg. |
|--|-----|
| LISTA DE FIGURAS..... | vii |
| LISTA DE QUADROS..... | ix |
| LISTA DE TABELAS..... | ix |
| RESUMO..... | x |
| ABSTRACT..... | xi |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS SOB A COPA DAS ÁRVORES..... | 4 |
| 2.2 INFLUÊNCIA DAS ÁRVORES NA FERTILIDADE DO SOLO..... | 10 |
| 2.3 INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE LUMINOSA NO PROCESSO FOTOSSINTÉTICO..... | 20 |
| 2.4 CONCENTRAÇÃO DE PIGMENTOS FOLIARES NAS PLANTAS.. | 24 |
| 2.5 ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS NAS FOLHAS DAS PLANTAS.. | 28 |
| 2.6 INFLUÊNCIA DAS ÁRVORES NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS..... | 31 |
| 2.7 INFLUÊNCIA DAS ÁRVORES NO VALOR NUTRITIVO E NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS..... | 37 |
| 2.8 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC. – ALGAROBA..... | 54 |
| 2.8.1 Classificação taxonomica, origem e introdução..... | 54 |
| 2.8.2 Descrição botânica..... | 55 |
| 2.8.3 Biologia reprodutiva e fenologia..... | 55 |
| 2.8.4 Reprodução e multiplicação..... | 56 |
| 2.8.5 Clima e solos..... | 57 |
| 2.8.6 Importância e usos..... | 58 |
| 2.8.7 Silvicultura e manejo..... | 58 |
| 2.8.7.1 Sementes e viveiro..... | 58 |
| 2.8.7.2 Plantio no campo..... | 59 |
| 2.8.8 Produção..... | 60 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 2.8.9 | Suscetibilidade à pragas e doenças..... | 61 |
| 2.9 | CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE <i>Cenchrus ciliaris</i> L. – CAPIM-BÚFEL..... | 62 |
| 2.9.1 | Classificação Botânica, Origem e Introdução..... | 62 |
| 2.9.2 | Descrição botânica..... | 63 |
| 2.9.3 | Reprodução e multiplicação..... | 64 |
| 2.9.4 | Clima e solos..... | 65 |
| 2.9.5 | Importância e potencial da espécie..... | 65 |
| 2.9.6 | Estabelecimento e manejo..... | 66 |
| 2.9.6.1 | Período de dormência..... | 66 |
| 2.9.6.2 | Métodos de plantio..... | 67 |
| 2.9.6.3 | Semeadura..... | 67 |
| 2.9.6.4 | Tratos culturais..... | 68 |
| 2.9.7 | Produtividade..... | 68 |
| 2.9.8 | Suscetibilidade à pragas e doenças..... | 69 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 71 |
| 3.1 | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL..... | 71 |
| 3.2 | CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA..... | 71 |
| 3.2.1 | Geologia e material de origem..... | 71 |
| 3.2.2 | Clima..... | 73 |
| 3.2.3 | Vegetação..... | 74 |
| 3.2.4 | Solos..... | 75 |
| 3.3 | INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO..... | 76 |
| 3.4 | DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS..... | 79 |
| 3.5 | COLETA DE DADOS..... | 80 |
| 3.5.1 | Determinação de parâmetros dendrométricos..... | 81 |
| 3.5.2 | Determinação do percentual de sombreamento da algaroba.... | 81 |
| 3.5.3 | Amostragem do solo..... | 81 |
| 3.5.4 | Determinação da umidade e da fertilidade do solo..... | 82 |
| 3.5.5 | Preparação das amostras e análise foliar da algaroba..... | 82 |
| 3.5.6 | Determinação de parâmetros de trocas gasosas na pastagem de capim-búfel..... | 83 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.5.7 | Determinação do conteúdo de clorofila nas folhas do capim-búfel..... | 83 |
| 3.5.8 | Determinação da área específica foliar do capim-búfel..... | 84 |
| 3.5.9 | Produção de biomassa verde da pastagem de capim-búfel..... | 85 |
| 3.5.10 | Determinação da matéria seca do capim-búfel..... | 85 |
| 3.5.11 | Análises químico-bromatológicas da pastagem de capim-búfel..... | 86 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 87 |
| 4.1 | CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DA ALGAROBA E RADIAÇÃO SOB A COPA DAS ÁRVORES..... | 87 |
| 4.2 | CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA ALGAROBA..... | 88 |
| 4.3 | CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS SOB A COPA DAS ÁRVORES..... | 90 |
| 4.3.1 | Temperatura do ar..... | 90 |
| 4.3.2 | Temperatura da folha do capim-búfel..... | 93 |
| 4.3.3 | Umidade relativa do ar..... | 93 |
| 4.3.4 | Umidade do solo..... | 95 |
| 4.4 | INFLUÊNCIA DAS ÁRVORES NA FERTILIDADE DO SOLO..... | 96 |
| 4.4.1 | Matéria orgânica e Ph..... | 96 |
| 4.4.2 | Nitrogênio no solo..... | 100 |
| 4.4.3 | Fósforo no solo..... | 103 |
| 4.4.4 | Potássio, Cálcio e Magnésio no solo..... | 105 |
| 4.5 | AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS ECOFISIOLÓGICAS NA PASTAGEM DE CAPIM-BÚFEL..... | 106 |
| 4.5.1 | Pigmentos foliares..... | 106 |
| 4.5.2 | Intensidade luminosa e fotossíntese..... | 109 |
| 4.5.3 | Área foliar específica..... | 112 |
| 4.6 | PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO CAPIM-BÚFEL..... | 113 |
| 4.6.1 | Rendimento de matéria seca total..... | 114 |
| 4.6.2 | Teor de matéria seca..... | 119 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.7 | VALOR NUTRITIVO DA PASTAGEM NO SISTEMA SILVIPASTORIL..... | 120 |
| 4.7.1 | Nitrogênio..... | 120 |
| 4.7.2 | Proteína bruta..... | 123 |
| 4.7.3 | Fibra..... | 125 |
| 4.7.4 | Digestibilidade..... | 126 |
| 4.8 | COMPOSIÇÃO MINERAL DA PASTAGEM NO SISTEMA SILVIPASTORIL..... | 128 |
| 4.8.1 | Fósforo na matéria seca do capim-búfel..... | 128 |
| 4.8.2 | Potássio na matéria seca do capim-búfel..... | 132 |
| 4.8.3 | Cálcio na matéria seca do capim-búfel..... | 134 |
| 4.8.4 | Magnésio na matéria seca do capim-búfel..... | 135 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 137 |
| 6 | RECOMENDAÇÕES..... | 138 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 139 |

LISTA DE FIGURAS

| FIGURA | Pg |
|---|-----|
| 1 Localização da área de estudo em relação às cidades de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA) | 72 |
| 2 Representação esquemática da área experimental mostrando a distribuição das árvores selecionadas, os respectivos pontos de amostragem, fora da influência da espécie florestal, e as demais árvores de algaroba não utilizadas neste estudo..... | 77 |
| 2b Vista parcial da área experimental, mostrando a distribuição das árvores de algaroba (<i>Prosopis juliflora</i>) na pastagem de capim-búfel (<i>Cenchrus ciliaris</i>), no período chuvoso..... | 78 |
| 3 Dimensões médias das árvores, usadas como referência para marcar os pontos de coletas de dados (tratamentos A, B e C)..... | 79 |
| 4a Variáveis microclimáticas mensuradas sobre a gramínea cultivada sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época seca (1997)..... | 91 |
| 4b Variáveis microclimáticas mensuradas sobre a gramínea cultivada sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época chuvosa (1998)..... | 92 |
| 5a Matéria orgânica e pH no solo, sob a copa das árvores (pontos A e B) e no solo da pastagem cultivada solteira (ponto C), amostrados na época seca (1997)..... | 97 |
| 5b Matéria orgânica e pH no solo, sob a copa das árvores (pontos A e B) e no solo da pastagem cultivada solteira (ponto C), amostrados na época chuvosa (1998)..... | 98 |
| 6a Macronutrientes no solo, sob a copa das árvores (pontos A e B) e no solo da pastagem cultivada solteira (ponto C), amostrados na época seca (1997)..... | 101 |
| 6b Macronutrientes no solo, sob a copa das árvores (pontos A e B) e no solo da pastagem cultivada solteira (ponto C), amostrados na época chuvosa (1998)..... | 102 |
| 7 Conteúdo e relação entre pigmentos foliares na gramínea cultivada sob a copa das árvores (pontos A e B) e na pastagem a pleno sol (ponto C), amostrados na época chuvosa (1998)..... | 107 |
| 8a Variáveis fisiológicas mensuradas sobre a gramínea cultivada sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época seca (1997)..... | 110 |
| 8b Variáveis fisiológicas mensuradas sobre a gramínea cultivada sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época chuvosa (1998)..... | 111 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 9a | Rendimento médio de matéria seca total da pastagem e teores médios de matéria seca na forragem do capim-búfel, sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época seca (1997)..... | 114 |
| 9b | Rendimento médio de matéria seca total da pastagem e teores médios de matéria seca na forragem do capim-búfel, sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época chuvosa (1998)..... | 115 |
| 10a | Teores de nitrogênio, proteína bruta, fibra detergente neutro (FDN) e digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DIVMS) do capim-búfel cultivado sob a copa da algaroba (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), amostrados na época seca (1997)..... | 121 |
| 10b | Teores de nitrogênio, proteína bruta, fibra detergente neutro (FDN) e digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DIVMS) do capim-búfel cultivado sob a copa da algaroba (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), amostrados na época chuvosa (1998)..... | 122 |
| 11a | Teores de macronutrientes na matéria seca do capim-búfel cultivado sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), obtidos na época seca (1997)..... | 129 |
| 11b | Teores de macronutrientes na matéria seca do capim-búfel cultivado sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), obtidos na época chuvosa (1998)..... | 131 |

LISTA DE QUADROS

QUADRO

- | | | |
|---|--|----|
| 1 | Média mensal das temperaturas máxima e mínima (°C), umidade relativa do ar (%), precipitação acumulada mensal (mm) e evaporação mensal, durante o período experimental, comparadas à normal (médias de 35 anos)..... | 74 |
| 2 | Parâmetros médios de crescimento para a algaroba (<i>Prosopis juliflora</i>) e percentuais de radiação obtidos sob a copa das árvores, nas épocas seca e chuvosa..... | 87 |

LISTA DE TABELAS

TABELA

- | | | |
|---|--|----|
| 1 | Concentrações médias de macronutrientes nas folhas de <i>P. juliflora</i> associada ao capim-búfel (<i>C. ciliaris</i>) em um sistema silvipastoril, em duas épocas distintas..... | 88 |
| 2 | Concentrações médias de macronutrientes nas folhas de <i>P. juliflora</i> em plantios puros, em duas idades diferentes..... | 89 |

RESUMO

A região semi-árida brasileira é tradicionalmente explorada como área pastoril para criação de pequenos e grandes ruminantes e, ainda, como fonte de madeira para energia e outras finalidades diversas. A atividade pecuária desenvolvida nessa região apresenta baixa produtividade, caracterizada, principalmente, pela escassez e baixa qualidade das pastagens na época seca. Os produtores conscientes da necessidade de suprir essa deficiência nutricional tem, entre outras alternativas, realizado o plantio da algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC), principalmente para produção de vagens, visando a suplementação alimentar dos animais. O objetivo desse estudo foi avaliar a influência da presença dessa leguminosa arbórea sobre a disponibilidade e qualidade da forragem em uma pastagem de capim-búfel (*Cenchrus ciliaris* L. var. Biloela), enfocando aspectos fisiológicos e nutricionais. As avaliações foram feitas em um sistema silvipastoril, com aproximadamente 15 anos de idade, durante os períodos seco e chuvoso, compreendidos entre os meses de agosto de 1997 e abril de 1998. O experimento foi instalado em blocos ao acaso, com 10 repetições e três tratamentos: dois pontos de amostragem (A e B) sob a copa das árvores e um terceiro ponto (C) distante 20 m de cada árvore selecionada, representando a pastagem em monocultivo. Sobre a pastagem de capim-búfel foram avaliadas as variáveis radiação fotossinteticamente ativa (RFA), fotossíntese líquida, eficiência fotossintética, temperatura do ar, temperatura das folhas e umidade relativa. Após o corte, foram determinados o rendimento de matéria seca total da parte aérea da gramínea, o teor de matéria seca da forragem, o conteúdo de clorofila *a* e *b* nas folhas, a área específica foliar, o valor nutritivo (proteína bruta, fibra e digestibilidade) e a composição mineral da forragem (N, P, K, Ca e Mg). No solo foram determinados o teores de umidade e a fertilidade. O sombreamento proporcionado pela árvores melhorou as condições microclimáticas sobre a pastagem, amenizando em média 1,5°C a temperatura do ar e em torno de 2,7°C a temperatura das folhas da gramínea e contribuiu para conservar melhor a umidade do solo. A presença da leguminosa arbórea na pastagem de capim-búfel favoreceu a fertilidade do solo, através do incremento dos teores de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, além de reduzir o pH do solo. Sob condições de luminosidade reduzida, as folhas do capim-búfel apresentaram maior área específica foliar e maiores teores de clorofila *a* e *b*, em relação àquelas expostas diretamente ao sol. A gramínea sombreada compensou os mais baixos níveis de radiação (RFA) com uma maior eficiência fotossintética. A disponibilidade de matéria seca total do capim-búfel foi menor sob a copa das árvores, porém, a forragem produzida nessas condições de luminosidade reduzida apresentou melhor valor nutritivo. Devido a importância da algaroba (*P. juliflora*) para a região semi-árida, como árvore de múltiplo uso, e principalmente, em função dos aspectos benéficos resultantes da sua influência sobre o ambiente e a pastagem, o sistema silvipastoril envolvendo a associação dessa leguminosa arbórea com o capim-búfel (*C. ciliaris*) se mostrou potencialmente viável.

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region is traditionally used as a pastoral area for raising small and big ruminants and, also, as a source of wood for energy and other various purposes. The livestock activity in this region shows low productivity levels and is mainly characterized by the shortage and low quality of the pastures in the dry period. Aware of the need of supplying this nutritional deficiency, some farmers, besides other alternatives, have grown mesquite (*Prosopis juliflora* (SW) DC) mainly for pod production as an additional food source for the animals. The objective of this study was to evaluate the influence of the presence of this legume forest tree species on the availability and quality of forage in a buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L. var. Biloela) pasture, emphasizing ecophysiological and nutritional aspects. The evaluations were made in a silvopastoral system, approximately 15 years old, during the dry and raining periods, between August 1997 and April 1998. The experiment was run in a completely randomized block design with ten replications and three treatments: two sampling points (A and B) under the tree canopies and a third point (C) 20 m away from each selected tree, representing the monocropped pasture. The variables photosynthetically active radiation (PAR), net photosynthesis, photosynthetic efficiency, air temperature, leaf temperature and relative humidity were evaluated in the buffel grass pasture. After harvest, the following parameters were determined: total dry matter yield of the aboveground portion of the grass; dry matter content of the forage; leaf chlorophyll *a* and *b* contents; specific leaf area; nutritional value (crude protein, fiber and digestibility), and mineral composition of the forage (N, P, K, Ca and Mg). In the soil, moisture content and fertility were determined. Tree shading improved the microclimatic conditions for the pasture, reducing air and grass leaf temperature by 1.5°C and 2.7°C, respectively, thus contributing for the maintenance of soil moisture. The presence of the *P. juliflora* in the buffel grass pasture favored the soil fertility by increasing dry matter, nitrogen and phosphorus contents and decreasing soil pH. Under low light conditions, the buffel grass leaves showed larger specific leaf area and higher chlorophyll *a* and *b* contents compared to those directly exposed to the sun. The shaded grass compensated the lowest radiation levels (PAR) by means of a higher photosynthetic efficiency. The total dry matter availability of the buffel grass was reduced under the tree canopy. However, the forage produced under these low light conditions showed a better nutritional value. Due to the importance of mesquite for the Brazilian semi-arid region as a multipurpose tree and, especially, the beneficial aspects resulting from its influence on the environment and pasture, the silvopastoral system involving the association of this tree with buffel grass showed to be potentially viable.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a região semi-árida brasileira tem sido explorada como área pastoril para criação de pequenos e grandes ruminantes e, ainda, como fonte de madeira para energia e outras finalidades.

Entretanto, a sua cobertura vegetal predominante, a caatinga, em razão da relativa pobreza do seu estrato herbáceo em gramíneas com potencial forrageiro, aliada a sua natureza caducifolia, não apresenta características adequadas ao pastejo e nem é capaz de prover por um período prolongado a disponibilidade de forragem. Conseqüentemente sua capacidade de suporte é muito baixa, proporcionando uma atividade pecuária com baixos índices de produtividade (SILVA et al., 1981; SALVIANO et al., 1982 e OLIVEIRA, 1993).

Por outro lado, esses recursos vegetais caracterizam-se, também, por apresentar baixa produtividade madeireira, podendo ser encontrados na vegetação nativa, em média, volumes entre 15 a 20m³/ha (TAVARES et al., 1970; LIMA et al., 1978 e IBDF, 1988).

O crescente aumento da demanda regional por produtos de origem florestal, proporcionado em maior escala por aquelas regiões que apresentam carência desses recursos, como os grandes centros urbanos, somado à expansão das áreas destinadas à agricultura, com ênfase na atividade pecuária, vem se constituindo numa séria ameaça de degradação ambiental, principalmente com relação aos recursos vegetais.

Dentro desse contexto, e com a crescente conscientização da importância da árvore na estabilidade ecológica e produtiva das pastagens, assunto bastante discutido no cenário agrícola mundial, têm-se motivado a criação de alternativas que procuram compatibilizar a silvicultura com a pecuária em sistemas de produção. Deve-se ressaltar, ainda, que a pecuária desenvolvida na região, baseada no gado bovino, tem sido fortemente questionada do ponto de vista ambiental, dado a sua associação com a degradação dos ecossistemas, causada principalmente em função do desmatamento para estabelecer novas áreas com pastagens.

A associação de pastagens com árvores pode trazer benefícios sobre a disponibilidade e valor nutritivo da forragem, tendo em vista a característica apresentada por diversas espécies arbóreas em adicionar nutrientes ao ecossistema, principalmente tratando-se de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio (ALPÍZAR, 1985 e MAHECHA et al., 1998). As árvores, também, podem exercer outros papéis no ecossistema das pastagens, proporcionando benefícios aos animais, ao meio ambiente e a própria pastagem, além da possibilidade de produzirem madeira e outros produtos diversos (frutos, forragem, goma, resina, etc.).

GIRALDO (1998) considera que os sistemas silvipastoris são de muita importância, especialmente para a América Latina, onde a necessidade da pecuária por pastagens produz uma enorme pressão nas áreas de bosques tropicais. E diversos autores tem postulado que esses sistemas respondem em parte aos problemas de desmatamento e degradação dos ecossistemas e da sustentabilidade da atividade pecuária.

No Brasil, a introdução do capim-búfel (*Cenchrus ciliaris* L.), em vários pontos da zona seca do Nordeste, tendo em vista sua notável adaptação às condições semi-áridas (SILVA et al., 1981), tem se constituído numa alternativa muito promissora para elevar a oferta de alimento durante todo ano e, conseqüentemente, melhorar o desempenho da pecuária nordestina (FREIRE et al., 1982 e OLIVEIRA, 1993).

Todavia, durante o período seco, muitas vezes o nível protéico das pastagens cultivadas com gramíneas, dentre elas o capim-búfel, não é suficiente para os animais manterem ou ganharem peso (SALVIANO, 1984) e o suprimento dessa deficiência nutricional por meio da associação com leguminosas herbáceas é bastante difícil, pois são poucas as espécies que suportam essas condições climáticas (AYERSA, 1981). Diante dessa dificuldade, este último autor sugere para regiões com escassez e má distribuição de chuvas, como é o caso do semi-árido brasileiro, a utilização dos sistemas silvipastoris, indicando como leguminosas mais promissoras as espécies pertencentes aos gêneros *Acacia*, *Cassia* e *Prosopis*.

A algaroba (*Prosopis juliflora* (SW.) DC.), introduzida no Nordeste do Brasil na década de 40, vem sendo cultivada na região como forrageira arbórea e como espécie para reflorestamento. O reconhecimento da sua importância por parte dos produtores, e a necessidade de suprir a deficiência nutricional de suas pastagens, têm motivado o plantio dessa leguminosa, principalmente para produção de vagens, visando a suplementação alimentar dos animais no período seco. O potencial da algaroba para reflorestamento está nas suas características de precocidade, resistência à seca e produção de madeira de boa qualidade para diversos fins, além da produção de vagens de elevada aceitabilidade e valor nutritivo, com a vantagem de frutificar na época seca.

O uso de árvores nos sistemas silvipastoris tem como objetivo principal a criação de um sistema multi-estratificado, que imite um bosque natural e que ajude a assegurar a ciclagem de nutrientes, assim como o uso ótimo de energia solar, entre outros aspectos, ao mesmo tempo que proporciona produtos e serviços múltiplos.

Acredita-se também que esses sistemas promovam uma ciclagem de nutrientes mais eficiente do que nas pastagens convencionais sem árvores. Esta hipótese é baseada parcialmente em estudos de eficiência da ciclagem de nutrientes em ecossistemas de florestas naturais e na suposição de que as árvores nos sistemas silvipastoris transferirão de forma semelhante os nutrientes para as culturas associadas (GIRALDO, 1998).

O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da presença de árvores da espécie *P. juliflora* sobre a disponibilidade e qualidade da forragem de uma pastagem de capim-búfel (*C. ciliaris* var. Biloela), com ênfase nos aspectos fisiológicos e nutricionais, visando comprovar a viabilidade desse sistema silvipastoril para a região estudada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS SOB A COPA DAS ÁRVORES

Segundo CARTER (1996), nos últimos 20 anos, pesquisas têm sido desenvolvidas visando avaliar o efeito das árvores no microclima local, chegando-se a conclusão de que estas tem um efeito significativo e quantificável sobre o clima local imediato. Por exemplo, em Nanjing, considerada uma das cinco cidades mais quentes da China, o fato da redução das altas temperaturas de verão de 32,2°C para 29,4°C, foi atribuído diretamente ao efeito refrescante das árvores plantadas (23 árvores por habitante) no transcurso de 32 anos (Bartenstein, 1981 citado por BEATTY, 1985).

As árvores exercem uma ação importante ao reduzir as variações diárias e sazonais dos diversos elementos meteorológicos, contribuindo para a manutenção de um ambiente mais estável sob a cobertura arbórea, o qual é bastante distinto daquele que ocorre fora da floresta (CESTARO, 1988). Além das condições de luminosidade, outros fatores ambientais ligados direta ou indiretamente à energia radiante e suas interações com o componente florestal podem ser importantes para o crescimento das plantas nos estratos inferiores da floresta (ENGEL, 1989). Segundo SPURR & BARNES (1980), entre os fatores que são afetados por uma cobertura florestal, pode-se destacar o regime de temperaturas, a umidade relativa do ar e o teor de umidade do solo, os quais se modificam bastante, quando comparadas com as condições de áreas abertas, mais expostas aos efeitos climáticos.

De acordo com JACOBS (1988), a temperatura dentro das florestas tropicais pode ser até 7-10°C menor do que fora delas e essas diferenças são maiores durante a estação mais quente do ano. CESTARO (1988), estudando o microclima do interior de uma floresta de araucária (*Araucaria angustifolia*), constatou que a temperatura do ar foi cerca de 0,8°C inferior àquelas observadas simultaneamente sobre um terreno gramado próximo à mesma. A maior atenuação da temperatura pela cobertura arbórea ocorreu nos períodos

mais quentes do dia. Durante a noite e durante o inverno, as diferenças térmicas entre o gramado e o interior da floresta diminuíram.

TINOCO & VASQUEZ-YANES (1985) consideram a intensidade luminosa como o fator que apresenta maior magnitude de variação com a ocorrência de aberturas no dossel das florestas. E existem evidências de que em clareiras maiores de que 400 m², as condições microclimáticas aproximam-se bastante das áreas abertas (DENSLOW, 1980). Florestas com baixa densidade de copas ou sem folhas, como no caso de árvores decíduas, permitem maior penetração de radiação solar e, em tais situações, segundo SPURR (1964), a temperatura média diária tende a ser mais elevada dentro da floresta. Entretanto, quando as árvores estão completamente revestidas de folhas ou são densamente plantadas, as temperaturas extremas tendem a ser mais baixas, e a diminuição da radiação dentro da floresta pode contribuir para a redução da temperatura média em comparação com áreas abertas.

SEITZ (1976) constatou que a temperatura dentro de um povoamento de araucária (*A. angustifolia*), com 10 anos de idade e com 2 x 2 m de espaçamento, foi mais elevada do que a temperatura de um campo aberto, atribuindo a isso a maior penetração de radiação até as camadas inferiores do povoamento, fazendo com que o ar se aquecesse naquelas condições, ao mesmo tempo em que as copas das árvores impediam a perda de calor por irradiação noturna. Para o *Pinus elliottii*, nas mesmas condições de plantio e idade, o autor constatou que o povoamento era mais frio do que o campo, em razão da pouca radiação solar que chegava às camadas inferiores da floresta, devido à alta densidade das copas das árvores e, também, por esta se apresentar bastante úmida, pois houve situações em que os registros diários mostraram que o ar se manteve saturado durante as 24 horas.

Segundo PORFÍRIO DA SILVA et al. (1998), o uso ordenado de arborização em pastagens pode proporcionar a minimização dos efeitos adversos decorrentes de elementos climáticos. A manutenção de forragem verde durante o inverno ou em veranicos, começam a motivar produtores e técnicos da região noroeste do Paraná para a introdução de árvores nas áreas de pastagens (PORFÍRIO DA SILVA, 1994).

CASTRO (1996), avaliando a tolerância de gramíneas forrageiras tropicais a diferentes níveis de sombreamento artificial (0, 30 e 60%), constatou que o sombreamento progressivo reduziu a temperatura ambiente em todas as parcelas. As temperaturas mais baixas foram observadas em parcelas cultivadas com gramíneas de porte alto (*Andropogon gayanus*, *Panicum maximum* e *Setaria sphacelata*) e no mais alto nível de sombreamento (60%). Resultados similares foram encontrados por WILSON & WONG (1982), ao submeterem a gramínea *Panicum maximum* e a leguminosa herbácea *Macroptilium atropurpureum*, à três níveis de sombreamento artificial (0, 40 e 60%). A temperatura do ar, nas condições sombreadas, foi em média 1°C mais baixa do que nas áreas de cultivo a pleno sol.

No interior das florestas, as condições microclimáticas existentes estão intimamente relacionadas com as características da cobertura arbórea e refletem-se diretamente na fenologia e no desenvolvimento das espécies que vivem sob esse dossel (CESTARO, 1988). Nos sistemas silvipastoris a presença do componente arbóreo contribui para regular a temperatura do ar, nivelando suas oscilações extremas, conseqüentemente, tornando o ambiente mais estável, o que pode também beneficiar as plantas e os animais submetidos ao consórcio (BAZZAZ, 1979 e BUDOWSKI et al., 1984). Este fato foi observado por PORFÍRIO DA SILVA (1994) em pastagens de *Cynodon plectostachyus* cultivada no sub-bosque de *Grevillea robusta*, onde a maior estabilidade térmica ambiente, proveniente do sombreamento, favoreceu a produtividade forrageira e contribuiu para o conforto animal.

O microclima que se cria debaixo das árvores beneficia os animais domésticos que se mantêm mais confortáveis à sombra moderada do que quando expostos ao forte sol tropical. Este é um aspecto importante, pois os bovinos tendem a pastar preferencialmente nas horas mais frescas do dia e, certamente, não havendo esse agente regulador de temperatura, o seu consumo se vê limitado, tanto por razões de desequilíbrio do balanço térmico quanto por restrições do horário de pastejo (SÁNCHEZ, 1998).

Outro aspecto que pode ser alterado pela presença do componente arbóreo, é a temperatura do solo que, de maneira geral, também é menor no interior da floresta. Essa característica evidencia a importância do estrato herbáceo e da serapilheira como agentes reguladores das condições térmicas no solo da floresta (CESTARO, 1988).

Segundo WILSON (1990), um sombreamento artificial de 50% teve um pequeno efeito sobre a temperatura do ar, medida sobre uma pastagem de *Panicum maximum*. Porém, a alta radiação, característica do ambiente semi-árido, interferiu significativamente na temperatura do solo. Na pastagem a céu aberto a temperatura alcançou 45-50°C, na profundidade de 2 cm, comparada a 30-36°C no tratamento com sombra. JACOBS (1988) também confirma a existência de diferenças significativas entre temperaturas de solos florestais e de campo, e relata que essas diferenças normalmente são mais expressivas durante a estação mais quente do ano e que as flutuações diárias de temperatura são maiores nas áreas abertas.

Com relação à influência das árvores na modificação da umidade relativa do ar, a literatura mostra certa predominância para resultados com tendência de aumento dessa característica sob o dossel das espécies arbóreas (SEITZ, 1976; JACOBS, 1988 e OVALLE & AVENDAÑO, 1994). Porém, este fator parece depender basicamente do grau de sombreamento proporcionado pelas árvores, o qual pode variar de acordo com a espécie, o espaçamento e a idade das mesmas, afetando assim de forma diferenciada o microclima debaixo das suas copas e conseqüentemente o grau de tensão de calor (PAYNE, 1985).

SEITZ (1976) constatou diferenças significativas na variação da umidade relativa do ar entre dois povoamentos florestais equianeos (10 anos de idade), plantados no mesmo espaçamento (2 x 2 m), em comparação com um campo aberto. A umidade do ar, que foi discretamente mais alta dentro do povoamento *Araucaria angustifolia* em relação ao campo aberto, apresentou-se bem mais elevada dentro do povoamento de *Pinus elliottii*. Os menores teores de umidade registrados no campo livre da vegetação arbórea foram atribuídas principalmente à grande movimentação do ar. Já, no povoamento

de araucária, as umidades relativas mínimas foram mais elevadas, porque a movimentação do ar, sendo menor, permitiu uma saturação mais rápida da atmosfera, o que também ocorreu no povoamento de pinus, porém em maior intensidade. Nesta última, as temperaturas mais baixas favoreceram a saturação do ar com menores teores de vapor d'água.

A presença da espécie *Grevillea robusta* em pastagens da região noroeste do Estado do Paraná teve influência sobre algumas variáveis microclimáticas como a temperatura e umidade do ar e por conseguinte no déficit de pressão de vapor d'água. Segundo PORFÍRIO DA SILVA et al. (1998), as quedas na temperatura impostas pela sombra das árvores refletem em diminuições rápidas de pressão de vapor d'água e isto pode trazer conseqüências positivas para o desenvolvimento da pastagem, favorecendo seu crescimento ao aumentar a transpiração.

Por outro lado, ENGEL (1989) constatou que um sombreamento artificial em vários níveis (0, 42, 68 e 82%), pouco alterou a umidade relativa do ar e não comprometeu o crescimento de mudas de espécies florestais nativas. Enquanto que, WILSON & WONG (1982) constataram uma aumento em torno de 2% na umidade relativa do ar nas condições de sombra artificial (40 e 60%), em relação aos cultivos de *Panicum maximum* e *Macroptilium atropurpureum* a pleno sol.

CASTRO (1996), trabalhando com seis gramíneas forrageiras tropicais, sombreadas também artificialmente, observou que a umidade relativa atingiu valores bastante próximos na comparação entre o sombreamento intenso (60%) e na condição a céu aberto. Entretanto, houve uma considerável elevação da umidade do ar, acima do relvado de todas as espécies em estudo, quando submetidas a um sombreamento moderado (30%).

Segundo OVALLE & AVENDAÑO (1994), a modificação do microclima, com a presença do componente arbóreo, repercute também sobre o balanço hídrico do solo, contribuindo para que a umidade disponível para as plantas seja, em geral, superior debaixo das árvores. Maiores teores de umidade nos solos debaixo de coberturas florestais, foram encontrados por WILSON et al. (1986); GURBACHAN et al. (1991); BHOJVAID & TIMMER (1998) e GARG

(1998), e esse fator é atribuído à redução da radiação que chega ao solo, que influenciando significativamente na taxa de evaporação de água, concorre para a manutenção da umidade do solo (CASTRO, 1996 e BURESH & TIAN, 1997).

Em florestas maduras, as plântulas crescendo no piso florestal geralmente experimentam um ambiente menos extremo e menos variável em relação às condições de áreas abertas e, sobretudo, as flutuações nas temperaturas e na umidade do solo são menores (BAZZAZ, 1979). Em Queensland, Austrália, num ensaio com a gramínea *Panicum maximum*, submetida a um sombreamento artificial de 50%, WILSON (1990) demonstrou que, embora a pastagem tenha sido irrigada, o conteúdo de água na camada superficial do solo variou mais na condição ensolarada do que quando sob efeito da sombra, que se manteve mais estável.

A habilidade das árvores em manter ou melhorar as propriedades físicas do solo é bem documentada por YOUNG (1997). Nos sistemas agroflorestais, uma disponibilidade mais alta de água no solo é esperada debaixo das árvores, por causa da interceptação e redistribuição da água dentro do sistema (BURESH & TIAN, 1997). Em um sistema silvipastoril, desenvolvido na Colômbia, numa região com 750 mm de precipitação e 1825 mm de evaporação média anual, foi possível reduzir consideravelmente a irrigação da pastagem de *Cynodon plectostachyus* associada à *Prosopis juliflora* e *Leucaena leucocephala*, na época seca, em comparação com a mesma pastagem na condição de monocultivo (MAHECHA et al. 1998).

Na região sudeste da Guatemala, é de conhecimento popular que durante a época seca, quando há escassez de pastagem, os animais utilizam a forragem de algumas árvores como a *Guazuma ulmifolia*. Inclusive em algumas fazendas, durante os meses mais secos, se dispõe de áreas denominadas “montaña” onde os animais são levados para aproveitar a forragem de arbustos e árvores. Estas áreas são remanescentes de bosques latifoliados que, exatamente pela sua condição natural, permitem a conservação da umidade no solo, o que favorece o crescimento de diferentes plantas no sub-bosque (ARIAS 1998).

Segundo WILD et al. (1993), o maior teor de umidade no solo pode favorecer a atividade microbiana, resultando na aceleração da decomposição de matéria orgânica e possibilitando o aumento da sua mineralização. HANG et al. (1995), avaliando um sistema silvipastoril no Chaco Arido, Argentina, constataram que, durante um ano seco, um único evento de precipitação induziu um marcante aumento na mineralização de nutrientes e, também, que a mineralização de N correlacionou-se significativamente com o conteúdo de umidade no solo.

2.2 INFLUÊNCIA DAS ÁRVORES NA FERTILIDADE DO SOLO

As árvores têm o potencial de melhorar os solos por numerosos processos, principalmente quando são usadas em sistemas agroflorestais onde as espécies são cultivadas simultaneamente. Em síntese, as árvores podem influenciar na quantidade e disponibilidade de nutrientes dentro da zona de atuação do sistema radicial das culturas associadas, principalmente através do “input” de nitrogênio na fixação biológica de N_2 ; da recuperação de nutrientes abaixo do sistema radicial das culturas agrícolas e/ou pastagens; da redução das perdas de nutrientes por processos como lixiviação e erosão; do aumento da disponibilidade de nutrientes pela sua maior liberação na matéria orgânica do solo (BURESH & TIAN, 1997).

A magnitude das mudanças nas características do solo geralmente é maior em solos arenosos do que nos argilosos (CAMPBELL et al., 1994) e mais significativa em áreas menos férteis (DEPOMMIER et al., 1992). Árvores dispersas, particularmente em regiões semi-áridas, são há muito tempo reconhecidas e difundidas como ilhas de solos melhorados (BREMAN & KESSLER, 1995 e RHOADES, 1997). Na África, a espécie *Faidherbia albida* é bem conhecida pelo denominado “efeito albida”, que se refere ao maior crescimento/rendimento das culturas ou plantas herbáceas debaixo da copa das árvores do que em campo aberto (BURESH & TIAN, 1997).

De acordo com HARTEMINK et al. (1996) e MEKONNEN et al. (1997), as raízes profundas das árvores podem interceptar os nutrientes que foram lixiviados das camadas superficiais e se acumularam no subsolo, geralmente fora do alcance dos sistema radicial das culturas agrícolas e/ou pastagens, e retorná-los à superfície na forma de serapilheira. Pesquisas na parte ocidental do Quênia, na África, mostraram que árvores de crescimento rápido (*Calliandra calothyrsus*, *Sesbania sesban* e *Eucalyptus grandis*) e com alta exigência em N, retiraram nitrato do subsolo que havia se acumulado abaixo do sistema radicial de culturas agrícolas anuais (BURESH & TIAN, 1997). Nesse mesmo estudo, a *Sesbania sesban* também foi mais eficiente do que uma pastagem de grama natural na extração de água do subsolo, sugerindo, assim, menor perda de nutrientes por lixiviação sob a copa da leguminosa arbórea do que na área de pastagem sem árvores.

Todavia, BREMAN & KESSLER (1995) e BURESH & TIAN (1997) consideram que, para regiões semi-áridas, a absorção de nutrientes realizada pelas raízes das árvores nas camadas superficiais é muito mais importante do que a absorção de camadas mais profundas do solo.

Numerosos estudos mostram que a quantidade de matéria orgânica (M.O.) é mais alta na camada superficial dos solos debaixo de árvores do que em áreas abertas (GURBACHAN et al., 1992; MORDELET et al., 1993; BREMAN & KESSLER, 1995; ROY, 1996; EL-FADL, 1997; BURESH & TIAN, 1997; KANG (1997); RAO et al., 1997; YOUNG, 1997 e BHOJVAID & TIMMER, 1998). Por exemplo, num sistema agroflorestal com *Leucaena leucocephala*, KANG (1997) faz referência a obtenção de 12,3 g/kg de C debaixo das copas das árvores e 9,4 g/kg entre as fileiras dessa mesma espécie, em comparação com 5,9 g/kg de C na testemunha sem árvores. Lembrando que a parte orgânica do solo compreende uma variedade de substâncias que vão desde resíduos parcialmente decompostos até um material de composição definida, com teor médio de 58% de carbono (LOURENÇO & MEDRADO, 1998), ou seja, o valor correspondente ao percentual de C no solo multiplicado pelo fator convencional de Van Bemmelen: 1.724 (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1994).

Os aportes de matéria orgânica (M.O) em um sistema silvipastoril, envolvendo a gramínea *Cynodon plectostachyus* e a algaroba (*Prosopis juliflora*), foram maiores do que na pastagem em monocultivo, implicando numa maior ciclagem de minerais ao solo (1301 kg/ha/ano, contra 913 kg/ha/ano, respectivamente). Isto mostra a vantagem que representa o manejo de pastagens acompanhadas com árvores, já que uma fração representativa dos nutrientes extraídos da solução do solo retornam a ela mediante serapilheira e resíduos do pastoreio (MAHECHA et al., 1998).

RAMÍREZ (1997) concluiu que a inclusão das leguminosas arbóreas *P. juliflora* e *L. leucocephala* em pastagens de *C. plectostachyus* teve um efeito positivo sobre a composição química do solo (N, C, P, Ca, Mg e K), graças a um maior aporte de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, maior ciclagem de nutrientes. Estes fatores repercutiram numa maior produção e qualidade nutritiva de forragem da gramínea, além de uma maior disponibilidade de material forrageiro total consumível no sistema.

As árvores também podem contribuir no processo de restabelecimento da fauna do solo, que é um fator importante na decomposição de resíduos de plantas. De acordo com BURESH & TIAN (1997), a liberação de nutrientes da M.O. é normalmente mais dependente da sua porção biologicamente ativa do que propriamente da sua quantidade. A decomposição de M.O. é largamente controlada pela “biota” do solo, particularmente a macrofauna (TIAN et al., 1992). Esses organismos são importantes para disponibilizar os nutrientes nos sistemas de baixo “input”, onde as culturas, em grande parte, dependem de nutrientes liberados de materiais orgânicos em lugar de fertilizantes inorgânicos.

Por outro lado, as raízes das árvores muitas vezes liberam exudados que acidificam ou alcalinizam o meio (EPSTEIN, 1975) e essas modificações no pH do solo podem, segundo FASSBENDER & BORNEMISZA (1994), influenciar no conteúdo e composição dos microorganismos, alterando o teor de matéria orgânica do solo e, também, no processo de mineralização e transferência de íons no solo (BOWEN, 1984). Em condições ácidas as ações das bactérias e da macroflora são inibidas e se favorece a reprodução de

fungos, o que resulta numa menor eficiência na mineralização e humificação, conseqüentemente maior acumulação de carbono.

Nas diferentes áreas cultivadas do planeta, o nitrogênio, depois da água, é considerado o nutriente mais limitante para o crescimento e produções das plantas (Burns & Hardy (1975), citados por RAMÍREZ, 1985). Normalmente se adiciona aos solos fertilizantes nitrogenados visando melhorar a produtividade dos cultivos. Entretanto, esta prática de manejo, eficaz e proveitosa, está limitada a uns poucos cultivos nos países do terceiro mundo, e, raramente, o pequeno produtor utiliza este custoso insumo agrícola nas culturas de subsistência.

A fixação biológica de nitrogênio pode fornecer quantidades consideráveis desse nutriente para as plantas. Embora a magnitude do processo de fixação de N seja metodologicamente difícil de quantificar, estimativas de caráter geral estão na ordem de 150 kg/ha/ano (Giller & Wilson, 1991 citados por SANCHEZ & PALM, 1996).

Uma característica obviamente atrativa das árvores fixadoras de nitrogênio se refere as suas habilidades de reduzir o abundante mas inerte nitrogênio atmosférico (N_2) em amônio (NH_4^+), uma forma bastante aproveitável pelas plantas (RAMÍREZ, 1985). As árvores podem fornecer nitrogênio aos sistemas agroflorestais de duas maneiras: fixação biológica de N através de certas espécies de leguminosas e captura de nutrientes das camadas mais profundas do solo (SANCHEZ & PALM, 1996 e BURESH & TIAN, 1997).

Existe a evidência de que algumas espécies arbóreas como as cássias, que não fixam nitrogênio, possuam a capacidade de acumular nas suas folhas quantidades expressivas de N, presumivelmente por causa do maior volume de suas raízes e da sua habilidade para absorver nutrientes (GARRITY & MERCADO, 1994). Porém, estas espécies não fixadoras de N somente fazem a ciclagem dos nutrientes e não os adicionam ao sistema (SANCHEZ & PALM, 1996). DACCARETT & BLYDENSTEIN (1968), comparando o efeito de diferentes espécies arbóreas sobre os teores de N aportados ao solo, constataram que a percentagem de nitrogênio (N total) nos

solos debaixo de leguminosas arbóreas *Erythrina poeppigiana*, *Gliricidia sepium* e *Pithecolobium saman* foi sempre mais alta do que debaixo da não leguminosa (*Cordia alliodora* - Boraginacea) ou da testemunha, sem árvores, pelo menos nos primeiros 20 cm de solo.

Algumas árvores usadas em sistemas agroflorestais, principalmente as leguminosas, têm potencial para prover nitrogênio em quantidades suficientes para aumentar a produção das culturas associadas. Segundo SANCHEZ & PALM (1996), a *Sesbania sesban* aparentemente é capaz de substituir a aplicação de fertilizantes nitrogenados para rendimentos de milho na ordem de aproximadamente 4 t/ha. Porém, em níveis de rendimentos mais altos, comparáveis com fazendas comerciais de alta produção, a quantidade de nitrogênio orgânico provavelmente será insuficiente e necessitará ser combinado com fertilizantes inorgânicos.

MAHECHA et al. (1998) relatam que a gramínea *C. plectostachyus* associada às leguminosas *P. juliflora* e *L. leucocephala* sem adubação nitrogenada, alcançou teores de proteína bruta (PB) similares à gramínea adubada com uréia (400 kg/ha/ano). Segundo ARIAS (1998), a introdução de árvores de *Leucaena leucocephala* sub. *Glabrata* em pastagens na Guatemala, visa, entre outros propósitos, diminuir a dependência de fertilização química, já que essa espécie aporta quantidade consideráveis de nutrientes, principalmente N, através da fixação e ciclagem da folhagem que cai ao solo.

Os "inputs" orgânicos também têm uma importante vantagem sobre os fertilizantes inorgânicos, com relação ao efeito residual e a sustentabilidade. De acordo com SANCHEZ & PALM (1996), grande parte do nitrogênio que existe no "mulch" e que não é aproveitado pelas culturas, fica incorporado de forma ativa ou pouco ativa dentro da matéria orgânica do solo, enquanto que uma parte considerável do nitrogênio proveniente dos fertilizantes, que não é aproveitado pelas culturas, fica sujeito a perdas por lixiviação e desnitrificação.

Estudos preliminares no Chaco Árido argentino tem mostrado que sob a copa de árvores de algaroba (*Prosopis flexuosa*) se produz uma maior

acumulação de N total, N disponível e N retido na biomassa microbiana, em comparação com os espaços abertos entre as árvores ou com pastagens puras (HANG et al., 1995). Segundo ao mesmo autor, a utilização dessa espécie em sistemas silvipastoris, pela sua capacidade de fixar e reciclar rapidamente nitrogênio, poderia assegurar uma maior provisão de N disponível para os pastos, considerado depois da água, o fator mais limitante nas zonas semi-áridas (WETSELAAR, 1980).

Existem diversas experiências descritas na literatura sobre a influência da algaroba na recuperação de solos degradados, principalmente no que diz respeito a um maior aporte de nitrogênio. Por exemplo, BHOJVAID & TIMMER (1996 e 1998) constataram que o reflorestamento com *P. juliflora* melhorou as propriedades físicas e químicas de um solo alcalino degradado, diminuindo o pH e a condutividade elétrica do solo e, aumentando os teores de C e de outros nutrientes, entre eles o nitrogênio (N total). GURBACHAN et al. (1991) também encontraram resultados semelhantes, porém relacionados ao aumento de N disponível em um sistema silvipastoril, envolvendo *P. juliflora* e a gramínea *Leptochloa fusca*, em Karnal, distrito de Haryana, na Índia.

Alguns estudos mostram, ainda, o fator sombra como responsável pelo aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo (WONG & WILSON, 1980; ERIKSEN & WHITNEY, 1981 e WILSON et al., 1986). Os resultados obtidos nessas pesquisas, onde se estudou o comportamento de várias gramíneas tropicais submetidas à diferentes níveis de sombreamentos artificiais (telas de sombrite), mostraram uma forte evidência de que a taxa de mineralização é estimulada pela sombra. Tendo em vista que não houve a participação do componente arbóreo nesses estudos, WILSON (1990) atribui às respostas obtidas a uma possível melhora do ambiente do solo, sob a sombra, possibilitando uma atividade microbiana mais efetiva na decomposição da matéria orgânica, e a conseqüente liberação do nitrogênio mineralizado em maior quantidade para o crescimento da gramínea.

Diante disso, o autor acredita que existem evidências para apoiar a hipótese do efeito natural das árvores sobre a fertilidade do solo. Isto é, que a

sombra da copa das árvores influencia e altera as condições do solo para promover a atividade microbiana e a taxa de mineralização do solo. Esta influência é particularmente importante na agricultura onde o nível de nitrogênio do solo se apresenta como uma limitação para o desenvolvimento das culturas ou pastagens.

No que diz respeito ao fósforo no solo a situação é bem diferente em relação ao nitrogênio. De acordo com SANCHEZ & PALM (1996) o componente arbóreo nos sistemas agroflorestais não pode garantir o fornecimento da maioria do fósforo que as culturas associadas requerem, pois não existe nenhum processo semelhante ao de fixação de N, para adicionar P ao sistema. Também, é provável que a absorção do fósforo disponível das camadas mais profundas do solo seja desprezível por causa das concentrações muito baixas desse elemento nessas condições.

Uma maior recuperação de recursos do subsolo através das raízes das árvores seria esperada para água e nutrientes móveis, como nitrato, uma vez que para nutrientes menos móveis como o fósforo, o potencial de absorção é pequeno nessas condições, principalmente porque o P disponível para as plantas normalmente é baixo no subsolo (BREMAN & KESSLER, 1995).

De maneira geral, o conteúdo total de P diminui com a profundidade do solo, o que se explica em parte pela diminuição da matéria orgânica e dos fosfatos orgânicos, pois, segundo FASSBENDER & BORNEMISZA (1994), o teor de fósforo total nos solos tropicais parece estar ligado ao conteúdo de matéria orgânica. Uma vez que ocorre aumento da concentração de M.O. e dos fosfatos orgânicos na camada mais superficial dos solos, se obtém também uma maior quantidade de P total.

Nos sistemas silvipastoris se permite restabelecer os fluxos de nutrientes por múltiplas relações que ali se desenvolvem, as quais contribuem para conservação e melhoria do solo, pois além dessas relações serem competitivas podem ser também complementares (SIAVOSH et al., 1998). A coabitação de duas espécies pode proporcionar sobre cada uma delas uma influência desfavorável, nula ou favorável (OLIVA, s.d.). De acordo com SIAVOSH et al. (1998), o aumento da disponibilidade de P no solo parece

estar relacionado à presença de espécies leguminosas, as quais mobilizam quantidades apreciáveis desse elemento. Existem espécies que apresentam maior eficiência na solubilização de P e isso pode trazer benefícios para outras menos eficientes, quando estão associadas (MARSCHNER, 1995).

MAHECHA et al. (1998), referindo-se a um sistema silvipastoril, relatam que os maiores conteúdos de fósforo no solo, nas associações que contaram com a presença das leguminosas arbóreas *P. juliflora* e *L. leucocephala*, em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm), possivelmente, ocorreram como consequência dos maiores conteúdos de matéria orgânica no perfil do solo. Ainda, segundo esse mesmo autor, este fato pode contribuir para que haja um aumento do poder tampão na solução do solo, possibilitando que o P se ligue na forma de complexo orgânico e possa estar disponível para a gramínea associada. Em se tratando de leguminosas, também se deve considerar que algumas plantas mobilizam P através dos ácidos orgânicos excretados pelas raízes e que atuam como quelantes, podendo, por meio da ação de micorrizas ou de bactérias junto à rizosfera, aumentar a disponibilidade desse elemento para as plantas (PRIMAVESI, 1984).

Entretanto, a ciclagem de fósforo proveniente de materiais orgânicos normalmente é insuficiente para satisfazer as exigências desse nutriente para as culturas. Produções sustentadas de cultivos agrícolas e/ou pastagens, em sistemas agroflorestais desenvolvidos em solos que apresentam deficiência de P, sem dúvida, exigirão a introdução desse elemento através de uma fonte externa (BURESH & TIAN, 1997).

A maioria dos estudos relacionados com sistemas agroflorestais se refere a um pequeno ou nenhum benefício das árvores sobre a disponibilidade de fósforo no solo. Por exemplo, ESQUIVEL et al. (1998), na região atlântica de Costa Rica, não detectaram efeitos significativos da presença de *Erythrina berteroana* e *Gliricidia sepium* em pastagem de *Brachiaria brizantha*, com relação à disponibilidade de nutrientes no solo e sugeriram que os baixos níveis de P encontrados ocorreram devido à alta capacidade de retenção do tipo de solo do local (origem vulcânica). BURESH & TIAN (1997) também constataram que a rotação de culturas envolvendo

Sesbania sesban e *Zea mays*, no continente africano, não eliminaram a deficiência de P no cultivo do milho subsequente ao plantio da espécie florestal. Enquanto que, alguns estudos mostram, ainda, uma diminuição nos teores de P disponível no solo sob a copa das árvores, presumivelmente por causa da imobilização desse nutriente pela biomassa da árvore (HAGGAR et al, 1991).

Avaliações realizadas em um sistema silvipastoril natural, envolvendo uma grande diversidade de espécies arbóreas com predominância de guácimo (*Guazuma ulmifolia*), associadas à pastagem de *Panicum maximum*, mostraram aportes significativos dos nutrientes N, P e K ao solo, em função de três densidades das árvores e das suas respectivas áreas de cobertura de copa, que refletiam na área sombreada da pastagem (GIRALDO, 1998). O autor chama atenção para os valores de K aportados ao solo no período de inverno (33,54 kg/ha na alta densidade e 14,08 kg/ha na densidade mais baixa) em função deste elemento ser muito importante para a pastagem de *P. maximum* e, também, porque parte dele pode ser reciclado através das árvores de guácimo. Segundo FASSBENDER & BORNEMISZA (1994), a extração de K pelo cultivo de pastagens é normalmente bastante elevada (600-900 kg/ha) se comparada com outras culturas como o cacao, café, algodão e leguminosas produtoras do grãos, que geralmente são pequenas (5-30 kg/ha).

As perdas do elemento potássio se devem principalmente à sua percolação através do perfil do solo, erosão e ao escoamento superficial (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1994). Nesse sentido, a presença do componente arbóreo num sistema agroflorestal ganha importância pela possibilidade de minimizar estas perdas, pois, segundo FASSBENDER & BORNEMISZA (1994), em plantações florestais, o ciclo do K obtém gradativamente um caráter fechado. Normalmente no desenvolvimento de um povoamento florestal, inicialmente o potássio se acumula nas plantas e, posteriormente, se estabelece um ciclo interno solo-planta, muitas vezes estável, através da produção de serapilheira e da sua decomposição.

Segundo EGUNJOBI & BADA (1979), uma plantação de *Pinus caribaea*, com dez anos de idade, acumula um total de 375 quilos de potássio por hectare, dos quais 152 se encontram nas acículas e 105 nos galhos e ramos finos, o restante aparece nas raízes e na serapilheira. Enquanto que, para *Pinus patula*, aos 30 anos de idade, aproximadamente a metade do potássio (35 kg/há), referente à uma demanda anual de 78 kg/ha, retorna ao solo na forma de serapilheira (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1994).

Esses mesmos autores mencionam que os ciclos do Ca e do Mg no solo são similares ao do potássio, com as diferenças principais de não apresentarem o fenômeno de fixação, ou seja, acumulação nas argilas, e suas perdas ocorrerem principalmente por processos erosivos. A espécie florestal pode contribuir para amenizar essas perdas, pois a proteção física exercida pelas árvores se reflete no controle da erosão, através da redução da velocidade dos ventos e do impacto da chuva sob o solo (HOUGHTON, 1984) e das modificações na estrutura do solo e no grau de sua erosividade, através do sistema radicial que serve de sustentação para o solo (HAWLEY & DYMOND, 1988). Também a biomassa que as árvores adicionam ao ecossistema, através das folhas, flores, frutos e galhos que caem no solo, além de participarem do processo de ciclagem dos nutrientes removidos do solo, se constituem numa proteção adicional contra a erosão (PAYNE, 1985).

Em um estudo realizado em Haryana, na Índia, visando determinar os efeitos das árvores (*Prosopis juliflora*) sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, durante um período de 0, 5, 7 e 30 anos de idade, BHOJVAID & TIMMER (1998) constataram que o crescimento das árvores, entre outros fatores, alterou o microclima e a umidade do solo, e, também, aumentou a concentração de matéria orgânica e os teores de K, Ca e Mg trocáveis, melhorando a fertilidade do solo.

RAMÍREZ (1997) avaliando um sistema silvipastoril composto pela gramínea *Cynodon plectostachyus* e as leguminosas arbóreas *P. juliflora* e *L. leucocephala*, em uma reserva natural na Colômbia, concluiu que a presença das árvores leguminosas incrementaram à solução do solo conteúdos significativos de Ca e Mg, permitindo que a gramínea associada tivesse maior

disponibilidade desses nutrientes para seu desenvolvimento. Enquanto que, em Uttar Pradesh, na Índia, SHUKLA & MISRA (1993) demonstraram que a algaroba (*P. juliflora*) foi mais eficiente do que outras três espécies arbóreas (*Eucalyptus tereticornis*, *Dalbergia sissoo* e *Acacia nilotica*) no melhoramento das características químicas de um solo sódico, principalmente com relação ao aumento dos teores de N e Ca trocável.

2.3 INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE LUMINOSA NO PROCESSO FOTOSSINTÉTICO

De acordo com KRAMER & KOZLOWSKI (1979), os efeitos da luz sobre a fotossíntese são exercidos por meio da intensidade e da qualidade da luz e, ainda, através do fotoperíodo ou duração de exposição. Entretanto, a intensidade da luz, a que as plantas estão normalmente sujeitas, regula a fotossíntese em muito maior extensão do que a sua qualidade ou fotoperíodo. Desde que a intensidade luminosa não diminua demasiadamente, a fotossíntese não é seriamente afetada sob a copa de espécies folhosas, em termos de qualidade, em função do acréscimo da luz verde no ambiente sombreado.

Diversas pesquisas ecofisiológicas têm dado ênfase à fotossíntese, por causa da sua relação direta com a sobrevivência e o crescimento das plantas (ENGEL, 1989). No estudo da capacidade de uma determinada espécie em se adaptar à diferentes níveis de luminosidade ambiental, a fotossíntese tem se mostrado útil, porque uma boa parcela das diferenças de tolerância à sombra entre espécies relaciona-se com a habilidade de seu aparelho fotossintético adaptar-se à intensidade luminosa (KRAMER & KOZLOWSKI, 1979).

Segundo KRAMER & KOZLOWSKI (1979) e WHATLEY & WHATLEY (1982), mediante acréscimos adicionais de luz alcança-se o ponto de compensação lumínica (PCL), no qual a fotossíntese e a respiração se equilibram, sem que haja troca gasosa líquida. Esse ponto de compensação

varia entre espécies e dentro da mesma espécie, nas folhas de sol e de sombra, e também com a temperatura. A fotossíntese é proporcional à intensidade da luz até atingir o ponto de saturação lumínica - PSL (intensidade de luz na qual a taxa de fotossíntese líquida ou aparente é máxima) a partir do qual a curva que era ascendente torna-se horizontal. Quando essa intensidade é muito elevada pode ainda provocar, em algumas espécies, um declínio na fotossíntese.

LI et al. (1998), baseado em um estudo comparativo de colheitas de trigo (*Triticum aestivum*) dentro e fora de um povoamento de *Paulownia* sp., na província de Henan, na China, observaram que a taxa de fotossíntese máxima nas folhas do trigo sombreado não foi alterada na fase de florescimento e enchimento de grãos, mas diminuiu significativamente na fase de maturação. Os rendimentos da colheita de trigo foram correlacionados com a quantia total de fotossíntese dentro e fora do povoamento e nas duas fases de desenvolvimento da cultura. A fotossíntese mensurada nas folhas de trigo cultivado sob a copa das árvores foi 40-66% e 20-55% daquela obtida no monocultivo, durante as fases de florescimento e maturação, respectivamente.

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi medida em três sistemas silvipastoris distintos, todos com oito anos de idade, em três localidades do Reino Unido (*Acer pseudoplatanus* em Glensaugh, Escócia; *Larix eurolepis* em Bronydd Mawr, Gales e *Fraxinus excelsior* em North Wyke, Inglaterra). Duas densidades de plantio (400 e 100 árvores/ha) foram comparadas e todos os sistemas foram associados à gramínea *Lolium perenne*. Os sistemas silvipastoris receberam menos radiação do que o sistema sem árvores (pastagem pura), principalmente o sistema mais adensado (30% da radiação entrante), porém, nenhuma diferença foi observada com relação à capacidade produtiva dos animais, mensurada indiretamente através do peso vivo de ovelhas (BERGEZ et al., 1997).

De acordo com BOARDMAN (1977), as taxas fotossintéticas à baixas intensidades luminosas tendem a ser maiores para plantas cultivadas sob sombra do que a pleno sol. Assim, LOACH (1967) relata que plantas que

crecem na sombra têm maior capacidade fotossintética que plantas crescendo em plena luz, quando ambas são colocadas sobre baixa intensidade luminosa. Como é o caso de muitas espécies arbóreas tolerantes à sombra, por exemplo, *Acer rubrum* e *Fagus grandiflora*, que apresentaram máxima fotossíntese em intensidades bastante baixas (5-10% da luz plena).

Maior capacidade fotossintética de espécies florestais cultivadas à sombra, também, foi constatada por RONCO (1970), INOUE et al. (1979) e SOUZA (1981) para as espécies *Picea engelmanni*, *Araucaria angustifolia* e *Cedrela fissilis*, respectivamente. Segundo o primeiro autor, este fato se deve à injúrias no aparelho fotossintético das plantas crescendo a pleno sol, e não a um aumento da eficiência da carboxilação das plantas na sombra, como se poderia esperar. LEVITT (1972), trabalhando com ecótipos de sombra expostos ao sol, também, faz referência a danos nos fotossistemas (principalmente FSII) causados pelo excesso de luz.

Todavia, SOUZA & VÁLIO (1995), investigando a influência de sombreamento natural sobre a atividade fotossintética de plantas jovens de três espécies arbóreas tropicais, concluíram que os valores de eficiência quântica, em *Esenbeckia leiocarpa*, foram maiores em plantas cultivadas sob radiação plena. Enquanto que para *Myroxylon peruiferum* e *Hymenaea courbaril*, tais valores foram maiores para as plantas submetidas ao sombreamento, indicando uma maior eficiência fotossintética sob condições de sombra.

CARVALHO (1996), estudando a influência da intensidade luminosa na fotossíntese de mudas das espécies florestais *Cabralea canjerana*, *Calophyllum brasiliense* e *Centrolobium robustum*, observou tendência geral de aumento na taxa de fotossíntese líquida com acréscimos de luminosidade (10, 30, 50 e 100%), entretanto, as proporções de aumento foram diferentes entre espécies. Para *C. robustum* a taxa de fotossíntese obtida sob 100% de luz foi quase o dobro daquela obtida no maior nível de sombreamento (90%). Enquanto que, para *C. canjerana*, considerando os níveis de luminosidade extremos, constatou-se apenas um discreto aumento da fotossíntese em plantas submetidas a 100 e 10% de luz. Esses resultados concordam com

aqueles encontrados por KWESIGA et al. (1986) para *Khaya senegalensis*, espécie considerada tolerante à sombra, que mostraram pouca diferença nas taxas de fotossíntese, ao serem cultivadas em alta ou baixa intensidade de luz. Já, para a espécie *C. brasiliense* em um dos substratos testados a maior taxa de fotossíntese foi obtida em mudas submetidas à 100% de luminosidade enquanto que para um segundo substrato foi obtida com 30% de intensidade luminosa, concordando com resultados obtidos por INOUE et al. (1979) que observaram maiores taxas de fotossíntese, em plântulas de *A. angustifolia* sob condições de sombreamento moderado e não sob plena luz.

Com relação ao comportamento de gramíneas forrageiras cultivadas sob a copa de árvores, BHATT et al. (1994) verificaram, em estudo realizados na Índia, que a taxa de transpiração e a resistência estomática das gramíneas *Cenchrus ciliaris* e *Dichanthium annulatum* foram minimamente afetadas ao receberam em torno de 20-25% de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) sob a copa de árvores de *Leucaena leucocephala*, com 10 anos de idade. Diante desse comportamento, os autores recomendaram a utilização dessas duas gramíneas em sistemas silvipastoris, juntamente com a leguminosa arbórea.

Em Guadalupe, na região do Caribe, foram feitos estudos de crescimento e absorção de nutrientes da gramínea *Dichanthium aristatum* cultivada a céu aberto e debaixo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala*, com uma transmissão de luz variando de 80 a 30% de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), sob o dossel das forrageiras arbóreas. CRUZ (1997) concluiu que a redução da RFA foi compensada por um aumento na eficiência de uso da radiação (EUR) na gramínea cultivada em condições sombreadas (em termos de produção de M.S.), atribuindo a esse comportamento aos níveis mais alto de N disponíveis no solo. As análises foliares também evidenciaram maiores concentrações de N nas plantas sombreadas, o que possibilitou, segundo ao mesmo autor, uma maior taxa de assimilação de CO₂ pela gramínea quando foi submetida a intensidade luminosa reduzida. Esses resultados concordam com os obtidos anteriormente por CRUZ et al. (1995), quando a pastagem de *D. aristatum*

teve sua eficiência de uso de radiação (EUR) aumentada ao ser cultivada sob a copa de *L. leucocephala* e também quando submetida a um sombreamento artificial (67% de sombra ou 33% de RFA). Da mesma forma, os valores mais altos para EUR e assimilação de CO₂ foram atribuídos ao melhor nível nutricional da gramínea, principalmente em termos de N, quando cultivada à sombra.

2.4 CONCENTRAÇÃO DE PIGMENTOS FOLIARES NAS PLANTAS

A radiação solar, para que possa produzir efeitos sobre as plantas, depende de sua absorção por determinados compostos que são denominados pigmentos do cloroplasto. Esses pigmentos são moléculas que contêm um grupo cromofórico responsável pela cores, sendo os principais pigmentos as clorofilas, fitocromos, flavinas, carotenóides e a antocianina. Dentre esses, o grupo das clorofilas é o mais importante, por estar envolvido diretamente no processo de fotossíntese, juntamente com alguns carotenóides em menor proporção (AWAD & CASTRO, 1983 e ENGEL, 1989).

Segundo COOPER & TAITON (1968) e CAMARGO (1970) a intensidade luminosa afeta marcadamente o aparelho fotossintético e o conteúdo de clorofila nas folhas. Este último parâmetro é freqüentemente utilizado por pesquisadores para estimar a eficiência fotossintética das plantas, e, conseqüentemente, seu reflexo sobre o crescimento e adaptabilidade delas aos diversos ambientes (ENGEL, 1989 e CARVALHO, 1996).

Poderia se esperar que uma planta com alta concentração de clorofila fosse capaz de atingir taxas fotossintéticas igualmente mais altas. Porém, segundo MITCHELL (1979), nem sempre esta relação existe, pois a etapa bioquímica da fotossíntese pode limitar o processo. Uma relação positiva entre taxas fotossintéticas e concentração de clorofila de folhas individuais só ocorre, de acordo com Gabrielsen (1948), citado por ENGEL (1989), à baixas

intensidades de luz, ou seja, abaixo do ponto de saturação luminica da espécie.

De acordo com HEATH (1972), a concentração de clorofila nas folhas sempre depende da luz. Sob baixa intensidade luminosa e baixa concentração de clorofila, a taxa fotossintética é dependente do nível de pigmentos das folhas. Pela estreita relação existente entre a luz e a síntese de clorofila, e entre esta última e a fotossíntese, vários pesquisadores têm investigado a influência da intensidade luminosa na concentração de clorofila nas folhas de diversas plantas (ENGEL, 1989).

Normalmente, folhas que se desenvolvem na sombra mostram maior quantidade de clorofila do que folhas de sol (BOARDMAN, 1977; STUTZ & FREY, 1980; LARCHER, 1986; FRIENDSHIP-KELLER et al., 1987 e IGBOANUGO, 1989). Este fenômeno acontece porque a clorofila é constantemente sintetizada e destruída na presença da luz, e, de acordo com KRAMER & KOZLOWSKI (1979), sob intensidade luminosa muito alta, a velocidade de decomposição aumenta, sendo que o equilíbrio se estabelece a uma concentração mais baixa. STUTZ & FREY (1980), por exemplo, relataram que a clorofila nas folhas de *Ilex opaca*, expressa tanto em área quanto em peso, foi significativamente menor a 100% de intensidade luminosa do que sob 50% ou 18%. Da mesma forma, INOUE (1977) estudando a concentração de clorofila em *Cedrela fissilis* e *Cedrela odorata*, encontrou valores significativamente maiores (quase 3 vezes) para a clorofila em plantas de sombra do que naquelas mais expostas à luz.

Embora existam diferentes tipos de clorofila nos vegetais verdes, são consideradas as mais importantes as clorofilas *a* e *b* (KRAMER & KOZLOWSKI, 1979). A clorofila *a* é de ocorrência generalizada em todas as células fotossintetizadoras e desempenha um papel fundamental no processo de bioconversão de energia. Os outros pigmentos são chamados *pigmentos acessórios* e estão associados à transferência de energia para o processo fotossintético (MAGALHÃES, 1979).

Tanto a concentração total de clorofila, quanto a proporção entre os diversos tipos desta, mudam em função da intensidade luminosa. GRAÇA

(1983) e KOZLOWSKI et al. (1991) demonstraram que a proporção entre a clorofila *a* e *b* tende a diminuir com a redução de luminosidade. Entretanto, o que se observa normalmente é que a clorofila *a* é sempre mais abundante que a clorofila *b* (INOUE, 1978 e KRAMER & KOZLOWSKI, 1979).

Espécies crescendo em ambientes de baixa radiação (espécies tolerantes a sombra) geralmente têm valores mais alto de clorofila total e menor relação de clorofila *a* e *b* e conteúdo de carotenos do que espécies típicas de ambientes de alta radiação (BOARDMAN, 1977 e MARTIN & WARNER, 1984).

Outros resultados encontrados na literatura mostraram ainda que a redução da proporção entre a clorofila *a* e *b* se deve a uma maior participação da clorofila *b* na condição sombreada (BOARDMAN, 1977; WHATLEY & WHATLEY, 1982; TINOCO & VASQUEZ-YANES, 1985 e LEE, 1988). Alguns autores não encontraram diferenças entre estas proporções, em plantas submetidas à baixos níveis de radiação (INOUE, 1983; GRAÇA, 1983 e NYGREN & KELLOMAKI, 1983/1984).

Segundo MAGALHÃES (1979), a presença de clorofila *b* em quantidades relativamente grandes nas plantas umbrófilas é justificada pelas suas características de absorção, cujos picos máximos (453 e 643 nm) se aproximam da região do verde comparados com a clorofila *a* (430 e 660 nm). A radiação com alta proporção de vermelho parece estimular a acumulação de clorofila *a*. Quando o verde e o azul se acham presentes em maiores quantidades, multiplicam-se a clorofila *b* e os carotenóides. Essa capacidade das plantas compensarem diferenças na qualidade da radiação incidente, pela mudança das quantidades de pigmentos que contém, é muito importante do ponto de vista ecológico (LARCHER, 1986)

ENGEL & POGGIANI (1991), ao estudarem a concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz, em função do sombreamento de *Amburana cearensis*, *Erythrina speciosa*, *Tabebuia avellanedae* e *Zeyheria tuberculosa*, concluíram que a concentração de clorofila nas folhas correlacionou-se positivamente com o nível de sombra, em todas as espécies, e esta correlação foi mais elevada para clorofila *b*.

SANTOS et al. (1995), estudando os efeitos de 50 e 100% de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em plantas juvenis de *Acacia mangium* e *Ceiba pentandra*, constataram que os teores de clorofila variaram significativamente apenas em *C. pentandra*, cujo conteúdo de clorofila *b* e total foi mais elevado quando submetida à 50% de RFA, embora este nível de radiação não tenha influenciado na relação clorofila *a/b*. Enquanto que, CARVALHO (1996) verificou que quanto menor a intensidade de luz maior era a concentração de clorofila nas folhas de três espécies florestais, para ambos os tipos de clorofila (*a* e *b*), mas, também não encontrou diferença significativa entre os tratamentos para a relação *a/b*.

Entretanto, em um outro estudo, onde se procurou verificar a influência de níveis de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) sobre a concentração de clorofila nas folhas de mudas de *Sesbania sesban*, *Cyrtosperma angustata* e *Copaifera langsdorffii*, NAVES (1993) observou que a redução da RFA aumentou a concentração das clorofilas *a* e *b* e diminuiu a relação clorofila *a/b*, indicando que a clorofila *b* foi, proporcionalmente mais aumentada que a clorofila *a*. Sugerindo, assim, que as clorofilas quando em condições de sombreamento, podem ser as principais responsáveis pela absorção da radiação difusa.

O aumento da proporção de clorofila *b* nas folhas de plantas cultivadas em ambientes sombreados é uma característica importante, pois permite que a captação de energia seja realizada de outros comprimentos de onda e sua transferência seja viabilizada para uma molécula de clorofila *a*, que é considerada o principal pigmento nas reações fotoquímicas da fotossíntese (WHATLEY & WHATLEY, 1982).

O incremento de clorofila *b* em plantas sombreadas pode ocorrer devido a um aumento da proporção do complexo coletor clorofila *a/b*-proteína, em relação ao complexo P-700-clorofila *a*-proteína, o qual é mais facilmente degradado (THORNBERRY, 1975) ou ainda pelo maior desenvolvimento de "grana" em cloroplastos de folhas de sombra em relação à folhas de sol (COOMBS & HALL, 1982).

Segundo OSWALD & ZIEGLER (1986), a relação clorofila *a/b* é mais sensível para detectar e exprimir as influências ambientais sobre os pigmentos das plantas do que propriamente a quantidade dos pigmentos nelas presentes. Além da já citada intensidade luminosa, essa relação pode ser influenciada por diversas condições, como por exemplo a poluição urbana (INOUE & CONEGLIAN, 1991 e BORGES et al. 1992) o estado nutricional (INOUE, 1977) o tipo de folha, de sol ou de sombra (LARCHER, 1986).

2.5 ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS NAS FOLHAS DAS PLANTAS

Existem na literatura diversas evidências demonstrando que o crescimento vegetativo das plantas e as relações entre os seus órgãos variam em função das condições ambientais (CASTRO, 1996). MITCHELL (1953) e COOPER & TAINTON (1968) fazem referência, por exemplo, à modificações no formato e dimensões das folhas em resposta a alterações na luminosidade, ressaltando a existência de diferenças na reação das espécies submetidas às mesmas modificações nas condições ambientais.

As folhas são os principais órgãos fotossintetizadores da planta, em função disto, são bastante afetados pela intensidade de luz, e, sua plasticidade característica, tem sido objeto de vários estudos ecofisiológicos. A maioria das folhas das espécies vegetais possui a faculdade de desenvolver diferentes estruturas anatômicas e morfológicas quando crescem em distintas situações de luminosidade ambiental. Assim, podem ser diferenciados dois tipos de folha quanto à natureza morfológica e estrutura anatômica: folhas de sombra e folhas de sol (ENGEL, 1989).

As folhas de sombra possuem uma anatomia e propriedades fisiológicas que as capacitam para utilizar baixas intensidades luminosas com grande eficiência, porém as mesmas não podem utilizar eficientemente as altas intensidade de luz, porque os plastídeos podem ser destruídos, quando expostos a alta radiação, por processos de foto-oxidação (COOMBS & HALL, 1982).

Geralmente as folhas de sol são menores e mais espessas, com maior desenvolvimento de cutícula. O mesófilo é bem desenvolvido, com parênquimas paliádico e lacunoso bem diferenciados, o número de camadas de células é maior com menores espaços intercelulares. As paredes celulares e a epiderme também são mais espessas (MITCHELL, 1979; COOMBS & HALL, 1982 e WHATLEY & WHATLEY, 1982).

Em consequência das adaptações estruturais e dos ativos processos metabólicos, as plantas adaptadas à luz intensa produzem maiores quantidades de matéria seca e contêm um teor mais elevado de energia. Por outro lado, as plantas adaptadas à luz tênue distinguem-se pela reduzida produção de matéria seca, eficiente síntese de proteína e baixa respiração e renovação de água (LARCHER, 1986).

A magnitude das alterações anatômicas nas folhas das plantas, em resposta à intensidade luminosa, depende também do seu grau de tolerância à sombra. De maneira geral, as espécies tolerantes desenvolvem folhas com características mais próximas daquelas que são peculiares nas folhas de sombra. Enquanto que, as espécies intolerantes, tendem a desenvolver folhas com estrutura similar às das folhas de sol típicas, mesmo quando em um mesmo ambiente (ABRAMS, 1987).

O estudo da adaptação morfológica de gramíneas a ambientes com baixa intensidade luminosa é importante para a melhor compreensão do seu crescimento em sistemas silvipastoris. As mudanças na morfologia das gramíneas provavelmente afetarão a qualidade da forragem como um todo e também de partes individualizadas das plantas. A distribuição de matéria seca entre as diferentes partes das plantas é um processo fortemente influenciado pelas condições ambientais (CASTRO, 1996).

Diversos resultados de pesquisas evidenciam que reduções na luminosidade ambiente resultam em alterações morfológicas das folhas de diversas gramíneas (MITCHELL, 1955; KIGEL & KOLLER, 1970; EAGLES, 1973; WONG & WILSON, 1980; DONG & KROON, 1994; MORITA et al., 1994; CARVALHO, 1996 e CASTRO, 1996). Por exemplo, MORITA et al. (1994) observaram que as espécies *Cynodon dactylon*, *Dactylis glomerata*,

Festuca arundinacea, *Lolium perenne*, *Paspalum dilatatum*, *P. notatum* e *Poa pratensis*, mantidas à sombra, apresentaram folhas significativamente mais longas que aquelas cultivadas a plena luz. DONG & KROON (1994) também constataram maior alongamento das folhas de plantas de *Cynodon dactylon* cultivadas sob 80% de sombreamento. Mesma tendência de comportamento foi observada por EAGLES (1973), em ensaio com *Dactylis glomerata*, que também constatou uma redução na espessura das folhas.

Segundo CARVALHO (1996), a área foliar (AF) é uma característica muito utilizada na avaliação de tolerância ao sombreamento. Em geral, o incremento da AF como resposta ao sombreamento é uma das maneiras da planta aumentar a superfície fotossintética, assegurando um aproveitamento mais eficiente nas baixas intensidades luminosas e, conseqüentemente, compensar as baixas taxas de fotossíntese por unidade de AF (BOARDMAN, 1977 e JONES & McLEOD, 1990), e que, segundo LUGO (1973), é um comportamento próprio de espécies tolerantes à sombra.

A área específica foliar (AEF) é um componente morfo-anatômico que relaciona a superfície foliar com o peso da matéria seca da própria folha, refletindo sua espessura e a proporção relativa entre a superfície assimilatória e os tecidos mecânicos e condutores do referido órgão (BENINCASA, 1988).

Segundo Patterson (1979 e 1980), citados por CASTRO (1996), as alterações nos valores de AEF refletem mudanças na estrutura e espessura das folhas. Assim, folhas menos espessas, características de plantas cultivadas em ambientes com luminosidade reduzida, possuem maior AEF do que aquelas provenientes de plantas desenvolvidas em condições de alta intensidade luminosa. O decréscimo na espessura da lâmina foliar com o sombreamento crescente também tem sido atribuído ao menor desenvolvimento do parênquima paliçádico (BARDEN, 1978 e BJÖRKMAN, 1981).

Incrementos na AEF de espécies cultivadas à sombra são de grande interesse, uma vez que essa característica tem sido associada com a tolerância ao sombreamento e a capacidade de adaptação de plantas a

certos níveis de luminosidade ambiental (CARVALHO, 1996), visto que a maior AEF implica em aumento da capacidade de interceptação de luz pela planta (SAMARAKOON et al., 1990 a).

CASTRO (1996), analisando o comportamento de seis gramíneas em diferentes níveis de sombreamento, constatou que o sombreamento moderado (30%) proporcionou aumento significativo de AEF apenas em *Setaria sphacelata*, porém, a intensificação do sombreamento para 60% resultou no decréscimo dos valores desse parâmetro. No entanto, CARVALHO (1996) submetendo três espécies arbóreas a diferentes níveis de luminosidade 100, 50, 30 e 10% constatou maiores valores de AEF nas intensidades luminosas mais baixas para todas as espécies trabalhadas.

Semelhantes alterações induzidas pela luz na AEF foram relatadas em diversas outras espécies e os autores são unânimes ao afirmar que essa característica aumenta quando as plantas são cultivadas sob intensidade luminosa reduzida (EAGLES, 1973; LUDLOW et al., 1974; SINGH et al., 1974; BJÖRKMAN, 1981; RAWSON & HINDMARSH, 1983; STRUIK, 1983; KASIM & DENNETT, 1986; SAMARAKOON et al., 1990 a; VALENZUELA et al., 1991 e MORITA et al., 1994).

2.6 INFLUÊNCIA DAS ÁRVORES NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS

O peso de matéria seca é o parâmetro quantitativo que melhor retrata o potencial de crescimento de uma planta em relação aos fatores ambientais (SOUZA, 1981 e CARNEIRO, 1995). Segundo ALBRECHT & MOREIRA (1990), a produção de matéria seca é considerada o melhor índice para mensuração de crescimento e pode ser útil para avaliar condições relativas de luz que são requeridas pelas plantas.

De acordo com LARCHER (1986), a produção de matéria seca está relacionada com a radiação solar e, na presença de um bom balanço hídrico e adequado suprimento de nutrientes, essa produção é estimulada com o

aumento de radiação. Assim, a quantidade total de matéria seca fixada pelas plantas é um reflexo direto da produção fotossintética líquida somada à quantidade de nutrientes absorvidos (BOURDEAU, 1958). Portanto, a maioria dos estudos de crescimento de plântulas envolvendo respostas à intensidade luminosa utilizam o peso seco total como índice de acúmulo de matéria seca (ENGEL, 1989).

A presença do componente arbóreo em sistemas silvipastoris pode influir no desenvolvimento do estrato vegetal herbáceo, pois suas raízes competem com as raízes das plantas herbáceas por água e nutrientes no solo e a sua copa intercepta a luz necessária para a fotossíntese (DACCARETT & BLYDENSTEIN, 1968). Desse modo, o crescimento de gramíneas forrageiras em associação com espécies arbóreas pode ser prejudicado ou favorecido, dependendo de fatores como o grau de sombreamento e de competição entre as plantas, com relação à água e nutrientes, contribuição das árvores em biomassa, nível de nitrogênio no solo e tolerância das gramíneas ao sombreamento (CARVALHO et al. 1997). Quando essas condições são favoráveis, pode-se esperar incrementos expressivos na produção de matéria seca da pastagem (OVALLE & AVENDAÑO, 1984) e na acumulação de nitrogênio na parte aérea da gramínea (WILSON et al., 1990).

A tolerância ao sombreamento é uma condição essencial em associações de pastagens com árvores, e, esta, pode variar entre espécies de gramíneas e leguminosas forrageiras (SHELTON et al., 1987 e WONG, 1991). Muitas espécies de gramíneas crescem melhor debaixo da sombra da copa das árvores, produzem maior quantidade de forragem e possuem uma melhor qualidade nutritiva (menor conteúdo de fibra e maior conteúdo de proteína bruta) comparadas com as gramíneas que crescem a plena exposição solar (DECCARETT & BLYDENSTEIN, 1968 e BOTERO & RUSSO, 1998).

BUSTAMANTE et al. (1998), ao avaliar oito espécies em monocultura e associadas à *E. poeppigiana* (280 árvores/ha), demonstrou, em Costa Rica, que a tolerância de gramíneas forrageiras à sombra é bastante variável, A maioria das gramíneas foi beneficiada com a presença da leguminosa

arbórea produzindo mais biomassa por hectare do que quando cultivada pura. Os acessos de *Panicum maximum* CIAT 16061 e 16051 produziram, respectivamente, 43% e 11% mais matéria seca no sistema silvipastoril. O *Cynodon nlemfuensis* produziu 52% a mais; a *Brachiaria brizantha* CIAT 6780, 38%; a *B. brizantha* CIAT 664, 44% e a *B. humidicola* CIAT 6369, 20%. Por outro lado, o *Pennisetum purpureum* cv. Enano e a *Brachiaria dictyoneura* CIAT 6133, foram influenciadas negativamente pelo sombreamento, produzindo ambas em torno de 11% a menos.

CARVALHO et al. (1997) concluíram que a produção de matéria seca de seis gramíneas forrageiras estabelecidas em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) foi afetada de modo diferente pelas condições ambientais prevaletentes. As espécies *Brachiaria brizantha* cv. Marandú e *Panicum maximum* cv. Vencedor foram as mais tolerantes, alcançando 98 e 77%, respectivamente, da produção obtida em área sem árvores. Os resultados obtidos por ERIKSEN & WHITNEY (1981), trabalhando com sombreamento artificial, mostraram também forte correlação entre espécies e intensidade luminosa. A gramínea *Pennisetum purpureum* teve um rendimento bastante alto, exceto sob intensidade luminosa mais baixa (27%). Os rendimentos de *Brachiaria brizantha* foram moderados e não foram afetados significativamente pelo sombreamento e o *Pennisetum clandestinum* apresentou baixo rendimento de M.S. em todas as intensidades de luz testadas.

Com relação ao efeito positivo do uso de árvores leguminosas em sistemas silvipastoris, JAGOE (1949), na Malaya, encontrou considerável aumento no rendimento dos pastos que cresciam debaixo da sombra de leguminosas arbóreas em comparação àqueles que cresciam sem sombra ou sob a copa de árvores não leguminosas. A produção da gramínea *Axonopus compressus* era maior quando se desenvolvia sob a cobertura da espécie leguminosa *Enterolobium saman*. GIRALDO (1998) relata que a presença de árvores leguminosas em pastagens incrementam a produção de matéria seca total disponível (árvores + pastagem) em comparação aos tratamentos sem a presença de árvores. Assim se manifesta, de acordo com esse autor, a

vantagem da presença das árvores nas pastagens, sem que elas representem uma diminuição da produtividade animal, como é a crença popular.

A inclusão das leguminosas arbóreas leucena (*Leucaena leucocephala*) e algaroba (*Prosopis juliflora*) em uma pastagem de capim estrela (*Cynodon plectostachyus*) influenciou positivamente a produção da gramínea. Nos sistemas pasto estrela + leucena + algaroba e pasto estrela + algaroba, a gramínea foi 24,6% e 32,7% superior, respectivamente, ao monocultivo (MAHECHA et al., 1998). Na região semi-árida do Chaco argentino, AYERSA et al. (1988) também constataram efeitos positivos da algaroba (*Prosopis nigra*) sobre a produção de matéria seca de pastagens nativas (*Setaria* spp.) e exóticas (*Cenchrus ciliaris*) em comparação com os cultivos solteiros dessas gramíneas.

A espécie *Hardwickia binata* foi identificada como uma leguminosa arbórea potencial para uso em sistemas silvipastoris, em regiões áridas e semi-áridas da Índia. Gramíneas forrageiras tais como *Cenchrus ciliaris* e *Chrysopogon fulvus* demonstraram ser mais produtivas em associação com árvores dessa espécie, em sítios altamente degradados (ROY, 1996).

BRONSTEIN (1984), estudando a associação de *Cynodon nlemfuensis* com as espécies arbóreas *Erythrina poeppigiana* e *Cordia alliodora*, observou que a produção da pastagem aumentou quando foi associada com as árvores, principalmente com *E. poeppigiana*, que é uma leguminosa. Também a incidência de ervas daninhas nesse sistema silvipastoril foi menor. GIRALDO (1998) também encontrou diferenças significativas na produção de matéria seca disponível com a inclusão de árvores leguminosas em pastagens. A pastagem solteira produziu 4019 kg/ha/ano contra 4160 kg/ha/ano sem a presença do gado. Com a introdução dos animais nas parcelas, as produções aumentaram para 4240 kg/ha/ano, no cultivo solteiro, e 4518 kg/ha/ano no tratamento com a presença do componente arbóreo.

Na avaliação do desempenho da pastagem de *Cynodon plectostachyus* cultivada solteira e associada com as espécies arbóreas *Cordia alliodora* e com *Erythrina poeppigiana*, ALPÍZAR (1985) obteve, durante cinco anos

seguidos, maiores produções de matéria seca da pastagem na associação com *Erythrina poeppigiana*. O baixo rendimento obtido na associação com *Cordia alliodora*, foi atribuído a uma série de fatores, entre eles a alta densidade de plantio (1512 árvores/ ha) causando uma maior competição por água luz e nutrientes. A poda de *Erythrina poeppigiana* permitiu uma maior entrada de luz, e também uma maior circulação de nutrientes no sistema, sobretudo a de nitrogênio. Entretanto, deve-se levar em conta que a poda pode reduzir o crescimento da raiz, conseqüentemente beneficiar a pastagem ao reduzir a competição por água e nutrientes.

Por outro lado, DANIEL & COUTO (1998) afirmam que nos sistemas silvipastoris, apesar das diferenças de tolerância das gramíneas e leguminosas herbáceas à diferentes níveis de sombra no sub-bosque, a tendência geral é que haja redução da produtividade da pastagem. CASTRO (1996) confirma esta tendência de comportamento demonstrando que o rendimento de matéria seca das gramíneas, principalmente as tropicais, diminui com a progressiva redução da intensidade luminosa. GIRALDO et al. (1995), desenvolvendo estudos ao norte da Colômbia, concluíram que o incremento na densidade de árvores, compostas principalmente por *Guazuma ulmifolia*, *Tabebuia chrysea*, *Enterolobium cyclocarpum* e *Calliandra calothyrsus*, de 74 para 96 indivíduos por hectare, reduziu em 50% o rendimento da forragem da gramínea *Panicum maximum*, no período de verão. Devendo-se ressaltar que esta gramínea pode ser considerada, junto com *Setaria sphacelata*, como sendo uma das mais produtivas em sombra moderada (CASTRO, 1996).

DACCARETT & BLYDENSTEIN (1968) observaram que a interceptação de luz pelas espécies arbóreas *Erythrina poeppigiana* (55,6%); *Gliricidia sepium* (34,4%); *Pithecolobium saman* (18,8%) e *Cordia alliodora* (6,1%) guardava uma relação estreita com o desenvolvimento das suas copas. Este fato, teve reflexos importantes sobre a produção de matéria seca das gramíneas cultivadas sob o dossel de cada espécie. Houve redução na produção de matéria seca debaixo das árvores com maior copa (maior interceptação de luz – 55,6% e 34,4%) em comparação com as outras de

menor copa (18,8% e 6.1%) e com a testemunha (pasto sem árvores), porém, essas diferenças não foram estatisticamente significativas. EHRENREICH & CROSBY (1958) e Gatherum (1960), citado por DACCARETT & BLYDENSTEIN (1968), já haviam verificado essa mesma tendência de comportamento, com a produção de forragem decrescendo a medida que a percentagem de cobertura das árvores aumentava, e concluíram que o maior decréscimo de produção se observava a partir de 50% de cobertura.

Em Nueva Concepción, Guatemala, foram associadas *Gmelina arborea* e *Leucaena leucocephala* com três gramíneas forrageiras *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*. As espécies arbóreas foram plantadas inicialmente no espaçamento de 3m X 3m e as primeiras observações indicaram que a leucena, pelo seu tipo de copa, permitiu um bom crescimento das três gramíneas testadas. Entretanto, o mesmo não ocorreu com a *Gmelina arborea*, sendo necessário ampliar o espaçamento de 9m² para 32m² (ARIAS, 1998).

DACCARETT & BLYDENSTEIN (1968) constataram que a produção de matéria seca do estrato herbáceo, composto principalmente pelas gramíneas *Panicum maximum*, *Paspalum fasciculatum*, *Homolepis aturensis* e *Digitaria decumbens*, não foi afetada pela presença de árvores na pastagem. Ou seja, a densidade de plantio das árvores (inicialmente 170 árvores por hectare) não afetou a produtividade da vegetação herbácea forrageira e isso foi atribuído à idade jovem das árvores (seis anos) e a suas copas pouco desenvolvidas. RODRIGUEZ (1985), estudando um outro sistema silvipastoril, sugeriu que a transferência de nutrientes pela árvore leguminosa *Erythrina poeppigiana* compensou o efeito do sombreamento que exercia sobre a gramínea *Pennisetum purpureum*, fazendo com que o rendimento anual da gramínea não fosse afetado pela presença da lenhosa perene.

Vários estudos mostram evidências de que gramíneas cultivadas à sombra são mais suculentas, portanto apresentam menor teor de matéria seca (BURTON et al., 1959; GORDON et al., 1962; McEWEN & DIETZ, 1965; ERIKSEN & WHITNEY, 1981; SMITH et al., 1984 e SAMARAKOON et al., 1990 b). Por exemplo, ERIKSEN & WHITNEY (1981) demonstraram que as

percentagens de matéria seca na forragem das gramíneas *Brachiaria brizantha*, *B. miliiformis*, *Digitaria decumbens*, *Panicum maximum*, *Pennisetum clandestinum* e *P. purpureum* foram significativamente reduzidas pelo decréscimo da intensidade luminosa. A percentagem de matéria seca foi reduzida em aproximadamente 1% para cada 10% de redução na intensidade luminosa.

CASTRO (1996) constatou diferenças de comportamento entre gramíneas, em relação à concentração de matéria seca, quando submetidas a diferentes níveis de sombreamento. No tratamento não sombreado, as gramíneas *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens* e *Melinis minutiflora* foram as que apresentaram os mais elevados teores de matéria seca, e mantiveram essa mesma tendência de comportamento quando cultivadas à sombra moderada (30%). Mas, ao serem submetidas a 60% de sombreamento, a espécie *M. minutiflora* apresentou teor de matéria seca significativamente superior aos demais e as espécies *Panicum maximum* e *Setaria sphacelata*, que seguiram um padrão decrescente com o aumento do sombreamento, foram as que apresentaram os valores mais baixos.

2.7 INFLUÊNCIA DAS ÁRVORES NO VALOR NUTRITIVO E NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS

Na exploração de plantas forrageiras um dos aspectos mais importantes a ser considerado é, certamente, o valor nutritivo, o qual é definido em função da composição química e digestibilidade da forragem produzida. Esses fatores variam de acordo com a espécie, idade, parte da planta, época do ano, condições de temperatura, umidade, luminosidade, fertilidade do solo e manejo (MOTT, 1966).

De acordo com BOTERO & RUSSO (1998), a ciclagem de nutrientes minerais, em termos de sustentabilidade, é maior nos sistemas silvipastoris do que nas pastagens tradicionais sem árvores. No Vale do Cauca, na

Colômbia, as análises dos teores de nutrientes nas fezes de vacas lactantes, pastejando num sistema silvipastoril com *Pithecellobium dulce* associado a *Brachiaria decumbens* e *Centrosema ocutifolium*, foram comparadas com os teores dos mesmos elementos encontrados nas fezes dos animais pastejando a gramínea *B. decumbens* pura. Os resultados mostraram uma superioridade no sistema silvipastoril, em termos de concentração dos elementos na matéria seca, para todos os nutrientes analisados nas fezes. Foram encontrados 1,46% de N, 0,42% de P, 1,17% de K, 0,9% de Ca e 0,5% de Mg contra 1,13% de N, 0,36% de P, 0,82% de K, 0,6% de Ca e 0,4% de Mg, nas fezes dos animais que pastejaram exclusivamente a gramínea.

O aumento da concentração de nitrogênio em plantas cultivadas sob intensidade luminosa reduzida, de forma artificial ou na presença de um componente arbóreo, ocorre com bastante frequência (BURTON et al., 1959; WONG & WILSON, 1980; ERIKSEN & WHITNEY, 1981; WILSON & WONG, 1982; ALPÍZAR, 1985; WILSON, 1988; WILSON, 1990; CASTRO, 1996; CARVALHO et al., 1997 e RAMÍREZ, 1997) e pode ser considerado como um dos fatores responsáveis pela melhoria da qualidade da pastagem, favorecendo a produção animal (CASTRO, 1996)

ERIKSEN & WHITNEY (1981) constataram que as percentagens de N encontradas na matéria seca de *Panicum maximum*, *Brachiaria miliiformis* e *Digitaria decumbens* foram mais altas em intensidades de luz artificialmente reduzidas. Os níveis de N na forragem foram significativamente mais altos ($P < 0,001$) a 27% de luz, do que na maior intensidade luminosa (100%). Também foi observado que o sombreamento, de modo geral, reduziu os rendimentos de matéria seca quando foi aplicada fertilização nitrogenada, mas aumentou esses rendimentos quando o N era deficiente. A intensidade de luz decrescente (aumento progressivo do sombreamento) diminuiu o conteúdo de matéria seca da forragem, mas aumentou a concentração de N e os níveis da maioria dos minerais. Assim, a qualidade da forragem e o rendimento sob condições deficientes de nitrogênio, foram melhores debaixo de sombra moderada.

No sul de Queensland, na Austrália, estudou-se a influência do sombreamento artificial, com 50% de transmissão de luz, sobre o rendimento de uma pastagem de *Panicum maximum* var. trichoglume. Os resultados dessa pesquisa mostraram uma forte evidência de que a taxa de mineralização é estimulada pelo sombreamento. A concentração de nitrogênio na forma de nitrato (N-NO₃) foi notadamente mais alta no solo sombreado, e isto refletiu não só na produção de matéria seca da pastagem, mas também no teor de nitrogênio que também foi maior nas folhas da gramínea cultivada à sombra (WILSON, 1990).

Ainda, tratando-se de experiências com sombreamento artificial, GORDON et al. (1962), trabalhando com *Dactylis glomerata*, MAYLAND & GRUNES (1974), com *Agropyron desertorum* e *Elymus cinerus*, WONG & WILSON (1980), com *Panicum maximum*, SAMARAKOON et al. (1990 b), com *Stenotaphrum secundatum* e *Pennisetum clandestinum*, relataram elevação do teor de nitrogênio na forragem obtida sob condições de luminosidade reduzida. WONG & WILSON (1980) observaram um aumento progressivo do conteúdo do referido nutriente com a intensificação do sombreamento. As médias de duas frequências de corte, apresentaram um incremento de 37 e 54%, para 40 e 60% de sombra, respectivamente.

FLEISCHER et al. (1984) verificaram que, apesar da elevação dos teores de N na matéria seca da gramínea *Panicum maximum*, submetida a sombreamento crescente, o seu conteúdo diminuiu devido à queda do rendimento forrageiro. Resultados similares foram obtidos por CASTRO (1996) para *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *Melinis minutiflora* e *Panicum maximum*, uma vez que o sombreamento resultou na elevação dos teores de nitrogênio nas folhas de todas as seis gramíneas estudadas, mas o conteúdo de N total aumentou apenas em *A. gayanus* e *S. sphacelata*.

Em solos de baixa fertilidade localizados na região centro-sul do Brasil, CARVALHO (1997) estudou o efeito de espécies leguminosas arbóreas nativas (*Anadenanthera peregrina*, *A. colubrina*, *Platypodium elegans*, *Acacia polyphylla* e *Plathymenia foliolosa*) sobre a disponibilidade e composição mineral da forragem de pastagens cultivadas com as gramíneas *Brachiaria*

decumbens e *B. brizantha*. Apesar de não ter sido constatada diferença significativa da presença das árvores sobre a disponibilidade de forragem, as concentrações de nitrogênio nas folhas das gramíneas e na serapilheira foram sempre maiores debaixo da copa das árvores do que a pleno sol.

Tendência similar de comportamento foi observada por ALPÍZAR (1985), em Costa Rica, ao realizar avaliações de reservas orgânicas e minerais de uma pastagem de *Cynodon plectostachyus* em condições de monocultivo e associadas à *Erythrina poeppigiana* e *Cordia Alliodora*. O autor concluiu que os pastos sombreados pelas árvores apresentaram melhor qualidade nutritiva, uma vez que os percentuais de nitrogênio encontrados na forragem debaixo de *E. poeppigiana* e *C. Alliodora* foram considerados adequados para suprir as necessidades nutritivas de bovinos, o mesmo não ocorreu com os teores de nitrogênio presentes na pastagem sem árvores.

SMITH & WHITEMAN (1983), avaliando o comportamento de oito gramíneas tropicais submetidas à diferentes níveis de sombreamento, proporcionados por variadas densidades de plantio de coqueiros, também constataram maiores concentrações de N em plantas sombreadas em comparação com os cultivos a pleno sol. Com base nos resultados obtidos, foram recomendadas as espécies *Brachiaria decumbens* e *B. humidicola* para plantações abertas (com mais de 70% de radiação solar), *Ischaemum aristatum* para sombreamentos moderados (45-70%) e *Stenotaphrum secundatum* para condições de baixa luminosidade (menos de 50%) e em solos de baixa fertilidade.

Com o objetivo de avaliar o crescimento inicial de cinco gramíneas tropicais (*Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Melinis minutiflora*, *Andropogon gayanus* e *Panicum maximum*) sob uma plantação de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.), CARVALHO et al. (1995) observaram, por ocasião do corte, que as plantas sombreadas apresentaram maior percentagem de folhas verdes do que as que cresceram ao sol, menor percentagem de matéria seca (M.S.) e maior concentração de N, entre outros elementos minerais. E, também, sugeriram como provável causa para essa maior concentração de nutrientes nas folhas e menor percentagem de M.S.

na forragem, o lento crescimento inicial das gramíneas sob condições de sombreamento.

CARVALHO et al. (1997), dando sequência a esse estudo, com a inclusão da espécie *Setaria sphacelata*, constataram a mesma tendência de comportamento, mostrando que as plantas que cresceram no sub-bosque de angico-vermelho continuaram a apresentar maiores concentrações de N, em todas as épocas de avaliação.

Segundo BOTERO & RUSSO (1998), uma característica dos arbustos e das árvores leguminosas é a possibilidade de fixação de nitrogênio (N) atmosférico em seus nódulos radiciais e, através do metabolismo, armazená-lo em seu componente forrageiro (folhas, pecíolos, ramos tenros e frutos) em forma de proteína bruta ($N \times 6,25$)

Maior conteúdo de nitrogênio na fitomassa forrageira desenvolvida sob a copa das espécies arbóreas *Acacia tortilis* e *Adansonia digitata* também foi observado por BELSKY (1992) ao compará-lo com o valor obtido na forragem fora da influência dessas árvores. Embora a diferença entre as duas espécies não tenha sido significativa, o teor de N foi maior debaixo de *A. tortilis*, sugerindo que a leguminosa tenha adicionado nitrogênio ao ambiente por meio de fixação simbiótica

Segundo MILFORD & MINSON (1966), o teor protéico da planta destaca-se como importante critério de avaliação das forrageiras, sendo considerado um dos índices de maior relevância na determinação do valor nutritivo das gramíneas.

A sombra das árvores, ao atenuar a intensidade de luz e a temperatura foliar das plantas, modifica também o conteúdo de proteína bruta (PB) nas pastagens tropicais (GIRALDO et al., 1995). Diversas espécies de gramíneas ao se desenvolverem debaixo da copa das árvores apresentam maior concentração de PB, quando comparadas àquelas que crescem em plena exposição solar (McEWEN & DIETZ, 1965; DACCARETT & BLYDENSTEIN, 1968; BRONSTEIN, 1984; RODRIGUEZ, 1985; ARIAS, 1998; BOTERO & RUSSO, 1998; HERNÁNDEZ et al., 1998 e MAHECHA et al., 1998).

Os teores de proteína bruta (PB) em *Poa pratensis*, *Carex foenea* e *Oryzopsis asperifolia*, cultivadas à sombra de *Pinus ponderosa*, foram significativamente superiores àqueles obtidos em áreas não sombreadas. Apesar da variação ocorrida de um ano para outro, os teores de PB foram sempre mais elevados nas gramíneas cultivadas em áreas reflorestadas (McEWEN & DIETZ, 1965).

DACCARETT & BLYDENSTEIN (1968) concluíram que a contribuição do nitrogênio no solo debaixo de árvores leguminosas (*Erythrina poeppigiana*, *Pithecolobium saman* e *Gliricidia sepium*) foi altamente significativa quando comparada a outra espécie não leguminosa (*Cordia alliodora*) e com a testemunha sem árvores e teve reflexos positivos sobre a percentagem de proteína das espécies herbáceas forrageiras *Panicum maximum*, *Paspalum fasciculatum*, *Homolepis aturensis* e *Digitaria decumbens*. Especialmente sob a copa de *E. poeppigiana*, que apresentava grande desenvolvimento de nódulos nas raízes no mesmo nível do solo em que se encontravam as raízes da vegetação herbácea. A interceptação de luz pela copa dessa leguminosa foi da ordem de 56% e as gramíneas associadas a ela apresentaram 8,4% de proteína, enquanto essa mesma pastagem a pleno sol alcançou apenas 6%.

As diferenças em concentração de proteína entre a testemunha (pastagem em monocultivo) e os tratamentos associados à arvores se explicam, em parte, porque um dos principais efeitos da sombra, sobre a composição química de gramíneas, é um marcante incremento nos teores de nitrogênio (ERIKSEN & WHITNEY, 1981).

Em Costa Rica, árvores de *Erythrina poeppigiana* foram associadas, num espaçamento de 6m X 6m, com oito gramíneas forrageiras. As gramíneas *Panicum maximum* CIAT 16051 e 16061, *Brachiaria brizantha* CIAT 664 e 6780, *Brachiaria humidicola* CIAT 663 e *Cynodon nlemfuensis* apresentaram entre 10 e 34% maior produção de forragem e também maior conteúdo de proteína bruta, quando associadas com às árvores nos sistemas silvipastoris, e comparadas com as mesmas gramíneas em cultivo puro (BOTERO & RUSSO, 1998).

HERNÁNDEZ et al. (1998) observaram um importante incremento nos teores de proteína na gramínea *Panicum maximum* quando foi associada com *Albizia lebbbeck*, *Bahuinia purpurea* e, principalmente, com *Leucaena leucocephala*. Na Guatemala, esta última espécie é introduzida em pastagens com vários objetivos, entre eles: diminuir a dependência de fertilização química, já que a *L. leucocephala* aporta quantidades consideráveis de nutrientes ao solo, principalmente nitrogênio através da fixação e da ciclagem, e, também melhorar a dieta dos bovinos, especialmente na ingestão de proteínas (ARIAS, 1998).

BUDOWSKI (1987), relatando uma experiência desenvolvida em Costa Rica, envolvendo a associação de *Erythrina poeppigiana* com pasto de corte, um híbrido de *Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*, mostrou resultados iniciais promissores. As podas periódicas nas árvores de *Erythrina* não influenciaram no rendimento do pasto em comparação ao tratamento controle (nenhuma árvore). Além disso, a produção de biomassa total foi 35% mais alta do que no controle e a produção de proteína aumentou em 193%.

CASTRO (1996), trabalhando com sombra artificial, constatou que houve um incremento progressivo dos teores de PB nas folhas de todas as seis gramíneas estudadas em resposta ao sombreamento crescente. Enquanto que, SMITH et al. (1984) não encontraram diferença em *Pennisetum americanum* submetido, também, a diferentes níveis de sombreamento artificial. O mesmo foi constatado para *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria miliiformis* e *Panicum maximum*, sob um povoamento de seringueira (WAIDYANATHA et al., 1984) e em *Brachiaria decumbens* no sub-bosque de um plantio de *Pinus kesiya* (BARBOSA & GURGEL GARRIDO, 1990).

Para interpretar os valores de fibra detergente neutro (FDN) é necessário, segundo Valdivia (1970), citado por RAMÍREZ (1997), apoiar-se no conceito de conteúdo celular, o qual representa a fração completamente solúvel e altamente digestiva (98% de digestibilidade). Desse modo, um alto valor percentual de conteúdo celular, para um determinado alimento, é, também, indicativo de elevado valor nutritivo. Enquanto que, a parede celular

(FDN) é o resíduo fibroso, parcialmente digerível. A sua digestibilidade é limitada principalmente pelo grau de lignificação da parede celular. Quando as amostras são destiladas em laboratório com um detergente neutro, resta um resíduo conhecido como fibra detergente neutro (FDN) que biologicamente representa a parede celular e quimicamente é formada por celulose, hemicelulose, lignina e traços de proteína.

A redução dos teores de FDN na forragem de diversas gramíneas em resposta ao sombreamento parece ser tendência geral de comportamento nessas circunstâncias, conforme foi observado por FLEISCHER et al. (1984) em *Panicum maximum* e por SAMARAKOON et al. (1990 b) em *Pennisetum clandestinum* e *Stenotaphrum secundatum*. E esse decréscimo na concentração de fibras, segundo WILSON & WONG (1982), está relacionado com o maior conteúdo de proteína que freqüentemente é encontrado nas plantas sombreadas. Comportamento similar foi observado por RAMÍREZ (1997) em *Cynodon plectostachyus*, que apresentou maior concentração de proteína na forragem e melhor qualidade nutricional (maior conteúdo celular) quando produzida debaixo da copa de *Leucaena leucocephala* e *Prosopis juliflora*.

DACCARETT & BLYDENSTEIN (1968) também encontraram diferença na percentagem de fibra das gramíneas *Panicum maximum*, *Paspalum fasciculatum* e *Homolepis aturensis* e *Digitaria decumbens* associadas à quatro espécies florestais. Foi constatada maior quantidade de fibra na vegetação herbácea da testemunha (sem árvores), em comparação com a que se desenvolvia na sombra das árvores. A explicação para esse incremento foi que, de maneira geral, a percentagem de fibra aumenta com a idade da planta e, em observações feitas quando o gado pastava na área de estudo, deduziu-se que as forrageiras debaixo das árvores eram mais apetecidas. Isto resultou numa renovação mais freqüente das forrageiras debaixo das árvores e uma idade maior das plantas na parcela testemunha, sem sombra.

Por outro lado, McEWEN & DIETZ (1965), avaliando o efeito do sombreamento na composição química de espécies forrageiras desenvolvidas

sob povoamentos florestais, verificaram que *Poa pratensis*, *Carex foenea* e *Oryzopsis asperifolia* continham maior teor de fibra quando amostradas num sub-bosque de *Pinus ponderosa*. Enquanto que, as gramíneas *Andropogon gayanus*, *A. schirensis* e *Setaria pumila*, quando cultivadas num sub-bosque da savana nigeriana, não tiveram suas concentrações de FDN alteradas significativamente (MUOGHALU & ISICHEI, 1995).

CASTRO (1996) manifesta a opinião de que o decréscimo da concentração de FDN na forragem, como um todo, parece ser a tendência geral de comportamento das gramíneas forrageiras, quando submetidas à condições de luminosidade reduzida. Entretanto, este mesmo autor, trabalhando com diferentes níveis artificiais de sombra, encontrou essa tendência somente para gramíneas de porte alto (*Andropogon gayanus*, *Panicum maximum* e *Setaria sphacelata*), uma vez que o sombreamento moderado (30%) induziu ao aumento dos teores de FDN para todas as gramíneas de porte baixo estudadas. Com a intensificação do sombreamento (60%) foi observado o decréscimo de tal atributo somente em *Brachiaria decumbens*, enquanto que em *B. brizantha* e *Melinis minutiflora* as concentrações de FDN voltaram à atingir valores bastante próximos daqueles observados na condição a céu aberto.

A digestibilidade, segundo ALMEIDA (1995), é a fração do alimento consumido pelos animais que não é recuperada nas fezes, podendo ser determinada por métodos diretos (gaiolas de metabolismo) e indiretos (rúmen artificial e laboratório). A digestibilidade “in vitro” da matéria seca (DIVMS) é um método indireto que vem sendo utilizado a bastante tempo, com o objetivo de fornecer uma estimativa do valor nutritivo da forragem quanto à sua digestibilidade (AUSTENSON, 1963).

Segundo, Bressani et al. (1958) e Jones e Hogue (1963), citados por CASTRO (1996), a idade fisiológica da planta forrageira e as condições de ambiente em que ela se desenvolve constituem fatores importantes e podem afetar consideravelmente a sua composição química e, por conseguinte, a digestibilidade de seus nutrientes e a eficiência de sua utilização. O processo de amadurecimento fisiológico da pastagem implica em redução de sua

qualidade, principalmente, pela diminuição dos teores do PB e aumento da concentração de fibras (AYERSA, 1981) e, essa baixa concentração de proteína na dieta, resulta em baixa digestibilidade de suas fibras. Dessa forma, as árvores, ao promoverem o sombreamento das pastagens, reduziram os extremos microclimáticos, proporcionando elevação do conteúdo protéico e favorecendo a digestibilidade da forragem obtida (CASTRO, 1996).

Entretanto, na literatura existem resultados bastante conflitantes com relação à influência da intensidade luminosa sobre a digestibilidade. De acordo com SAMARAKOON et al. (1990 a e 1990 b), o efeito do sombreamento na DIVMS pode ser tanto positivo quanto negativo ou ainda nulo, dependendo do balanço das alterações nos demais componentes dos tecidos vegetais. Assim sendo, não é possível generalizar nem prever a extensão em que a digestibilidade de uma determinada espécie será alterada quando cultivada à sombra.

CASTRO et al. (1998), estudando o efeito do sombreamento artificial sobre o valor nutritivo de seis gramíneas forrageiras, observaram que a DIVMS das folhas e caules das gramíneas cultivadas à sombra foi inferior à da forragem obtida a pleno sol. Resultados semelhantes foram obtidos por WILSON & WONG (1982) para a gramínea *Panicum maximum*, submetida a baixa intensidade luminosa, e por BELSKI (1992) ao constatar que a digestibilidade da massa forrageira obtida sob o dossel de *Acacia tortilis* e *Adansonia digitata* foi significativamente inferior àquela amostrada em áreas vizinhas sem a presença das árvores.

Por outro lado, o cultivo das gramíneas *Andropogon gerardii*, *Festuca arundinacea*, *Panicum clandestinum*, *P. virgatum* e *Phalaris arundinacea* em ambiente sombreado resultou em elevação da digestibilidade da forragem produzida (KEPHART & BUXTON, 1993). FLEISCHER et al. (1984), também, detectaram um aumento, apesar de não significativo, em torno de 11% na digestibilidade de *Panicum maximum* através de uma sensível redução da intensidade luminosa (89%) e BRONSTEIN (1984) não encontrou diferenças significativas para a pastagem *Cynodon plectostachyus* em monocultivo e

associada a *Erythrina poeppigiana* e *Cordia alliodora*, com relação a digestibilidade a despeito de existir uma tendência de aumento da percentagem da DIVMS, quando a gramínea foi associada às espécies arbóreas.

Segundo CLARK (1981), a luz não exerce efeito direto na absorção de nutrientes minerais pelas plantas, porém através diversos processos biológicos, como a fotossíntese, transpiração, respiração e a síntese de clorofila, pode provocar alterações significativas na sua composição mineral. A síntese de carboidratos e de outros substratos depende da energia lumínica presente no processo de fotossíntese e se a absorção exige energia metabólica a luz deverá promover o fenômeno em células fotossintéticas (EPSTEIN, 1975)

Sutcliffe, 1962, citado por CLARK (1981), afirma que quando existe suficiente provisão de energia, num ambiente onde outros fatores envolvidos são favoráveis, a absorção da maioria dos nutrientes é adequada e relativamente constante, porém, sob déficit energético a absorção ativa de íons é reduzida. Porém, CUNNINGHAM & NIELSEN (1965) constataram maiores teores de cátions em plantas que se desenvolveram sob condições de baixa intensidade luminosa, em comparação com aquelas cultivadas em período ensolarado.

Com relação ao fósforo, existem na literatura resultados conflitantes no que diz respeito à absorção desse nutriente em condições variáveis de luminosidade. JESCHKE (1976), estudando o efeito da luz na absorção de nutrientes em plantas vasculares aquáticas (*Vallisneria* e *Elodea*), através da realização de bioensaios em laboratório, encontrou evidências de que a luz estimula a absorção de fósforo nas plantas de *Elodea*, predominantemente na forma iônica H_2PO_4 .

Mesma tendência de comportamento foi observada por ENGEL & POGGIANI (1991) e CARVALHO (1996) em trabalhos com mudas de espécies florestais (*Calophyllum brasiliense* e *Cabralea canjerana*) submetidas a diferentes níveis de sombreamento, onde verificou-se aumento dos teores de P nas folhas das plantas expostas à 100% de luminosidade

(testemunha). E, também, por MAYLAND & GRUNES (1974) ao constatarem decréscimo nos teores de fósforo nas gramíneas *Agropyron desertorum* e *Elymus cinereus* submetidas à 75% de sombreamento, apesar dessa redução atingir significância estatística somente na última espécie.

Por outro lado, WOLTERS (1974) observou um aumento considerável de 116% no teor de P em *Unicola laxa* e *U. sessiliflora* cultivadas sob 92% de redução da luminosidade ambiente. Mesma tendência de comportamento foi observada por BURTON et al. (1959), ERIKSEN & WHITNEY (1981), STRUIK (1983) e CASTRO (1996) nas gramíneas *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *B. miliiformis*, *Cynodon dactylon*, *Digitaria decumbens*, *Melinis minutiflora*, *Panicum maximum*, *Pennisetum clandestinum*, *Setaria sphacelata* e *Zea mays*, em ensaios envolvendo sombreamento artificial.

McEWEN & DIETZ (1965) também obtiveram incremento do teor de fósforo na forragem de *Poa pratensis* cultivada à sombra de árvores de *Pinus ponderosa*. Resultados esses compatíveis com os registrados por BELSKI (1992) para um estrato herbáceo forrageiro obtido sob a copa de *Acacia tortilis* e *Adansonia digitata*, numa savana semi-árida do Quênia.

Vale ressaltar, ainda, que na fase inicial de estabelecimento de cinco gramíneas tropicais (*Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *Melinis minutiflora*, *Andropogon gayanus* e *Panicum maximum*) sob uma plantação de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.), CARVALHO et al. (1995) observaram que as plantas sombreadas apresentaram maior concentração de fósforo em suas folhas do que àquelas cultivadas em área aberta. Entretanto, oito meses após o estabelecimento das gramíneas e com a inclusão da espécie *Setaria sphacelata*, CARVALHO et al. (1997) registraram aumento da concentração de P nas folhas das gramíneas desenvolvidas à pleno sol e, aproximadamente, dois meses mais tarde, não constatarem mais diferenças nos teores desse elemento, entre as duas áreas estudadas.

Todavia, SAMARAKOON et al. (1990 b) não observaram alterações nos teores de fósforo nas gramíneas *Pennisetum clandestinum* e *Stenotaphrum secundatum*, com uma redução da luminosidade ambiente em torno de 50%,

concordando com os resultados obtidos por ERIKSEN & WHITNEY (1982) para as leguminosas forrageiras *Centrosema pubescens* Benth., *Desmodium intortum* (Mill.) Urb. e *Macroptilium atropurpureum* (D.C.) Urb. submetidas a diferentes regimes de radiação solar (27 e 100%). SMITH & WHITEMAN (1983) também verificaram que a concentração de P não foi significativamente afetada pelo sombreamento, ao analisarem as folhas das gramíneas *Axonopus compressus*, *Brachiaria decumbens*, *B. humidicola*, *B. miliiformis*, *Dicanthium caricosum*, *Ischaemum aristatum*, *Paspalum conjugatum* e *Stenotaphrum secundatum*, cultivadas dentro e fora de uma plantação de coqueiros.

Segundo JESCHKE (1976), a luz ao excitar a fotossíntese parece exercer, também, certo estímulo ao processo de absorção de potássio pela plantas. Resultados obtidos por Rains (1967, 1968) e Nobel (1969) citados por EPSTEIN (1975), mostraram que os tecidos foliares de milho (*Zea mays*) e de ervilha (*Pisum sativum*) acumularam mais K quando expostos à luz e numa velocidade duas vezes maior do que na escuridão.

HUNT & BURNETT (1973), estudando a influência da luz sobre a composição química da forragem de *Lolium perenne*, constataram queda na absorção de potássio em resposta ao decréscimo da intensidade luminosa ambiente. Conseqüentemente, as plantas dessa gramínea apresentaram menor teor desse nutriente quando sombreadas. Tendência similar foi observada por CASTRO (1996) em *Setaria sphacelata* quando ocorreu decréscimo dos níveis de potássio na fração folhosa e nos caules da gramínea com a intensificação do sombreamento, embora esse resultado tenha sido conflitante com o comportamento verificado na maioria das outras gramíneas investigadas no mesmo ensaio.

Por outro lado, SMITH & WHITEMAN (1983) não observaram alterações significativas nas concentrações de potássio na matéria seca das gramíneas *Axonopus compressus*, *Brachiaria decumbens*, *B. humidicola*, *B. miliiformis*, *Dicanthium caricosum*, *Ischaemum aristatum*, *Paspalum conjugatum* e *Stenotaphrum secundatum* quando foram cultivadas à sombra de coqueiros. Porém, SAMARAKOON et al. (1990 b) encontraram maiores

teores desse nutriente em *Pennisetum clandestinum* e *Stenotaphrum secundatum* cultivados sob 50% de sombreamento em comparação com os respectivos cultivos a céu aberto, embora as diferenças não tenham sido estatisticamente significativas.

A crescente concentração de potássio nas frações folha e caule das gramíneas *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *Melinis minutiflora* e *Panicum maximum*, em resposta ao sombreamento progressivo, observada por CASTRO (1996), está de acordo com a maioria dos resultados contidos na literatura referentes aos níveis desse elemento na massa forrageira de várias espécies cultivadas sob luminosidade reduzida.

MAYLAND & GRUNES (1974), por exemplo, verificaram elevação altamente significativa dos níveis de potássio na forragem de *Agropyron desertorum* e *Elymus repens* em plantas cultivadas sob 75% de redução da luminosidade. Comportamento semelhante foi observado por ERIKSEN & WHITNEY (1981) em *B. brizantha*, *B. miliiformis*, *Digitaria decumbens*, *P. maximum*, *Pennisetum clandestinum* e *P. purpureum*, para um nível de sombreamento similar (73%), cujos incrementos variaram de 25 a 100% em relação aos teores desse mesmo nutriente nas gramíneas cultivadas a pleno sol. E, por ERIKSEN & WHITNEY (1982) que obtiveram elevação dos teores de potássio na massa forrageira de leguminosas quando sombreadas durante a estação mais quente.

CARVALHO (1996), analisando a influência de diferentes níveis artificiais de intensidade luminosa sobre a concentração de nutrientes em mudas de essências florestais, também constatou decréscimo dos teores de K nas folhas de todas as três espécies estudadas (*Calophyllum brasiliense*, *Cabralea canjerana* e *Centrolobium robustum*) com o aumento da luminosidade.

Resultados com tendência de aumento nos teores de potássio, ainda foram observados em diferentes espécies de gramíneas quando cultivadas debaixo da copa de árvores. CARVALHO (1997), aproveitando a presença de árvores isoladas em uma pastagem cultivada com *Brachiaria brizantha* e *B. decumbens*, realizou um estudo visando avaliar o efeito dessas árvores sobre

a disponibilidade e composição mineral da forragem e da serapilheira. Tendo concluído que, apesar de não haver efeito das árvores sobre a disponibilidade de forragem, as concentrações de K nas folhas das gramíneas e na serapilheira, foram sempre mais altas debaixo da copa das árvores do que a pleno sol.

Segundo BELSKI (1992), a concentração de potássio na massa forrageira obtida sob o dossel de *Acacia tortilis* e *Adansonia digitata* foi maior que aquela observada na forragem amostrada fora da sombra dessas árvores. Da mesma forma, CARVALHO et al. (1997), observaram que os teores desse nutriente nas folhas verdes das plantas que cresceram no sub-bosque de angico-vermelho, foram significativamente maiores ($P < 0,01$) que àquelas que foram diretamente expostas ao sol. Esses resultados são condizentes com outros obtidos anteriormente por CARVALHO et al. (1995) ao examinarem o crescimento inicial de *A. gayanus*, *B. brizantha*, *B. decumbens*, *M. minutiflora* e *P. maximum* debaixo da mesma espécie florestal. Os autores sugeriram, naquela ocasião, que os mais elevados teores de potássio nas folhas das gramíneas cultivadas à sombra, provavelmente se deveram ao menor rendimento de matéria seca que foi obtido em tal condição.

Com relação ao comportamento do cálcio, a literatura traz resultados conflitantes no que diz respeito à sua absorção sob diferentes condições de luminosidade. CARVALHO (1996) encontrou respostas diversas para os teores de Ca nas folhas de mudas de três essências florestais, submetidas a diferentes níveis de sombreamento artificial. O teor de Ca nas folhas de *Centrolobium robustum* diminuiu com o aumento progressivo da luminosidade. Na espécie *Cabralea canjerana* a concentração do referido nutriente aumentou com o acréscimo de luminosidade. Enquanto que, o teor de potássio nas folhas de *Calophyllum brasiliense* aumentou quando as plantas foram submetidas a um nível de 50% de sombreamento e apresentou um ligeiro decréscimo sob 100% de intensidade luminosa.

SAMARAKOON et al. (1990 b) não observaram alteração dos teores de Ca em *Pennisetum clandestinum* e *Stenotaphrum secundatum* cultivados sob

luz plena e submetidos à 50% de sombreamento, concordando com os resultados obtidos por ERIKSEN & WHITNEY (1982), em ensaio com leguminosas forrageiras. Porém, para a cultura do milho (*Zea mays*) a redução da intensidade luminosa em 60% promoveu queda na concentração de cálcio (STRUICK, 1983).

No entanto, CASTRO (1996) trabalhando com seis gramíneas forrageiras encontrou tendência geral de aumento dos teores de cálcio nas diferentes frações das plantas (caule e folha) com o declínio da luminosidade, concordando com o exposto por vários autores em relação a esse nutriente na forragem obtida de plantas cultivadas à sombra (BURTON et al., 1959; MAYLAND & GRUNES, 1974; WOLTERS, 1974 e ERIKSEN & WHITNEY, 1981).

Em *Cynodon dactylon*, BURTON et al. (1959) constataram elevação significativa dos teores de cálcio em plantas sombreadas. Mesmo comportamento foi observado por ERIKSEN & WHITNEY (1981), em *Brachiaria brizantha*, *B. miliiformis*, *Digitaria decumbens*, *Panicum maximum*, *Pennisetum clandestinum* e *P. purpureum*, cultivadas à sombra. Embora esses autores comentem que a elevação dos teores de cálcio tenha sido intensificada na época fria, ocasião em que as plantas apresentaram menor taxa de crescimento.

McEWEN & DIETZ (1965) constataram, em um sistema silvipastoril, maior concentração de cálcio em *Poa pratensis* desenvolvida no sub-bosque de *Pinus ponderosa*, em comparação com o cultivo da gramínea a céu aberto. BELSKY (1992) observou, também, que a massa forrageira obtida sob o dossel de *Acacia tortilis* e *Adansonia digitata* possuía teor de Ca significativamente superior àquela amostrada em área fora da influência dessas espécies arbóreas.

CASTRO (1996) chama a atenção para a importância do magnésio na constituição das plantas forrageiras, pois, além de ser um dos bioelementos que fazem parte da molécula da clorofila, sendo essencial no processo fotossintético, também apresenta marcante influência sobre os ruminantes,

uma vez que sua deficiência ou baixa disponibilidade provoca nos animais uma desordem nutricional denominada tetania.

O incremento progressivo dos teores de magnésio na fração folhosa e nos caules de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *Panicum maximum* e *Setaria sphacelata* obtido por CASTRO (1996), em resposta à diferentes níveis de sombreamento, parece ser uma tendência geral de comportamento nessas condições, embora a magnitude do aumento em *S. sphacelata* tenha sido bem inferior ao das demais gramíneas. Esses resultados concordam com outros observados, em condições similares, na massa forrageira de *Agropyron desertorum*, *Brachiaria brizantha*, *B. miliiformis*, *Centrosema pubescens*, *Cynodon dactylon*, *Desmodium intortum*, *Digitaria decumbens*, *Elymus repens*, *Macroptilium atropurpureum*, *Panicum maximum*, *Pennisetum clandestinum* e *P. purpureum* (BURTON et al., 1959; MAYLAND & GRUNES, 1974; ERIKSEN & WHITNEY, 1981 e ERIKSEN & WHITNEY, 1982).

BURTON et al. (1959) relataram um aumento progressivo dos teores de Mg na matéria seca da gramínea *C. dactylon* quando submetida a níveis crescentes de sombreamento (36, 57 e 71%). Enquanto que, MAYLAND & GRUNES (1974), conduzindo um ensaio com as espécies *A. desertorum* e *E. cinereus*, detectaram elevação significativa dos teores de Mg nas gramíneas submetidas a 75% de sombreamento. Mesma tendência de resposta foi obtida por ERIKSEN & WHITNEY (1981) ao observarem que o cultivo de *Brachiaria miliiformis*, *Digitaria decumbens* e *Panicum maximum* sob 73% de sombreamento resultou em elevação altamente significativa dos teores desse nutriente nas citadas gramíneas.

CASTRO (1996) constatou que ambas as frações das plantas (folhas e caules) apresentaram maiores concentrações de Mg sob sombreamento intenso (60%), porém, esses valores foram bem mais expressivos nas folhas. Diante desse fato, o autor sugere que o aumento da concentração desse elemento esteja associado aos maiores teores de clorofila nas folhas. Pois, segundo KRAMER & KOZLOWSKI (1979) e HALE & ORCUTT (1987), plantas

sombreadas possuem maior quantidade de clorofila, e o magnésio é um dos elementos que compõe a sua molécula (CAMARGO, 1970 e INOUE, 1993).

Por outro lado, CASTRO (1996) também verificou que os teores de magnésio se mantiveram aproximadamente constantes e indiferentes ao declínio da luminosidade ambiente, em ambas as frações das plantas de *M. minutiflora*, concordando com os resultados obtidos por SAMARAKOON et al. (1990 b) quando a redução da luminosidade ambiente em 50% não afetou os teores de magnésio em *Pennisetum clandestinum* e *Stenotaphrum secundatum*.

2.8 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. - ALGAROBA

2.8.1 Classificação taxonomica, origem e introdução

A algaroba é classificada na família Mimosaceae (Leguminosae - Mimosoideae) e pertence ao gênero *Prosopis*, do qual são conhecidas mais de 40 espécies, distribuídas em três continentes: América, Ásia e África (NATIONAL ACADEMIC OF SCIENCES, 1980).

No continente americano estão as maiores concentrações dessas espécies, ocorrendo nas regiões ocidentais mais secas, desde o Sudeste dos Estados Unidos até a Patagônia (SOUZA & TENÓRIO, 1982). Sendo que na América do Sul estão concentradas, aproximadamente, 70% das espécies do gênero e, dessas, 93% são nativas da Argentina (KARLIN & AYERSA, 1982).

A espécie *P. juliflora* ocorre naturalmente no México, América Central, e norte da América do Sul (Peru, Equador, Colômbia e Venezuela). Além da região de origem, foi introduzida para cultivos de forragem e madeira no Brasil, Sudão, partes do Sahel, África do Sul e Índia (BURKART, 1976 b; FERREYRA, 1987; MALDONADO, 1988 e SILVA, 1988 a).

Entre outros nomes vulgares, a espécie que no Brasil é denominada algaroba, também é conhecida por mesquite, algarroba, nacascol

(Guatemala), carbón (El Salvador), acacia de Catarina (Nicarágua) e aroma (Panamá) (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1984).

No Brasil é cultivada na região Nordeste, sendo que a sua introdução ocorreu a partir de 1942, em Serra Talhada, PE., com sementes procedentes de Piura, Peru (AZEVEDO, 1961 e GOMES, 1961). Também, existem registros de duas outras introduções que foram feitas em Angicos, RN., em 1946, através de sementes oriundas do Peru e, em 1948, com sementes do Sudão (AZEVEDO, 1955 e AZEVEDO, 1982 b). A partir daí, sua expansão para os demais Estados ocorreu através da regeneração natural e plantios (LIMA, 1994).

2.8.2 Descrição botânica

Árvore espinhosa ou raras vezes inermes, apresentando altura de 6 a 15 m, tronco ramificado com diâmetro (DAP) variando de 40 a 80 cm e copa com 8 a 12 m de diâmetro (SOUZA & TENÓRIO, 1982 e VALDÍVIA, 1982). Folhas bipinadas, comumente com poucos pares de pinas opostas; folíolos pequenos e oblongos. Os frutos são indeicentes, lomentos drupáceos, lineares, falcados; mesocarpo carnudo; endocarpo dividido em compartimentos para uma semente, segmentos coriáceos para lenhoso; sementes ovóides, achatadas, com linha fissural nas faces, duras, amarronzadas. As flores são pequenas, actinomorfas, hermafroditas, de coloração branco-esverdeada, amarela com a idade (BURKART, 1976 a).

2.8.3 Biologia reprodutiva e fenologia

As espécies do gênero *Prosopis* são hermafroditas (HABIT, 1981), predominando a alogamia (FELKER, 1982). A floração e frutificação têm início a partir do segundo - terceiro ano (NOBRE, 1982 e SOUZA & TENÓRIO, 1982). Estudos têm demonstrado variações na produção de vagens entre árvores, bem como na forma, tamanho e teores de açúcares nos frutos (LIMA, 1994).

Em geral apresenta dois pontos máximos de floração e frutificação, sendo o de maior intensidade na primavera, de setembro a novembro, quando também se observa menores precipitações e altos volumes de déficit hídrico na região. O outro período ocorre entre os meses de abril e junho (LIMA, 1994).

Uma inflorescência possui em média 340 flores. A eficiência da polinização é baixa, sendo de 29% em relação ao número de inflorescências, e de 1,5% em relação ao número de flores (OLIVEIRA & PIRES, 1988). A polinização é entomófila, sendo a abelha (*Apis mellifera*) o principal agente polinizador (FELKER, 1982 e LIMA, 1994).

As flutuações na quantidade de perda de folhas é baixa, e está ligada à resposta fisiológica das árvores quanto ao “stress” hídrico e incidência de insetos desfolheadores. A emissão de folhas novas se concentra no período de dezembro a maio, coincidindo com o período chuvoso (LIMA, 1994).

2.8.4 Reprodução e multiplicação

A algarobeira se reproduz por semente e por estquia. As sementes, por possuírem tegumento duro, devem receber tratamento pré-germinativo antes de serem postas para germinar. Tratamentos à base de escarificação mecânica ou química, como o uso de ácido sulfúrico, apresentam bons resultados (SANTOS, 1987). Todavia, por ser mais prático e econômico, não oferecendo riscos aos operadores, aconselha-se imergir as sementes em água quente, após ebulição e retirada do fogo, por 3 a 5 minutos (LIMA, 1994).

Para produção de mudas via propagação vegetativa, as estacas devem ser colhidas de ramos novos de árvores matrizes selecionadas. Estes ramos devem ter idade inferior a um ano, podendo ser de brotação basal ou de copa (SOUZA & NASCIMENTO, 1984). Enraizamentos de 70-90% são obtidos em casa de vegetação com temperatura de 30-35°C e umidade relativa de 75-80% (SOUZA & NASCIMENTO, 1984 e LIMA, 1988).

As estacas devem ter entre 10 e 15 cm de comprimento e diâmetro de 2,5 a 4,5 mm. Sugere-se estacas com 100% de folhas e o uso de hormônios, como o ácido indolbutírico (AIB) na concentração de 2.000 ppm, na indução do enraizamento. A percentagem de enraizamento é função do período de coleta das estacas, número de gemas e condições nutricionais da própria planta (SOUZA, 1986).

Esta leguminosa tem a capacidade de associação simbiótica com *Rhizobium* (FRANCO, 1982 e FRANCO et al., 1988) e é recomendada para plantios consorciados, principalmente, em sistemas silvipastoris (ALVES, 1982; NOBRE, 1982; CARNEIRO, 1987; RIBASKI, 1987 e MENDES, 1988).

2.8.5 Clima e solos

Embora vegetando em regiões com precipitações pluviométricas entre os 150 e 1.200 mm anuais, seu melhor desenvolvimento produtivo para vagens ocorre em regiões que apresentam temperaturas médias anuais superiores a 20°C e precipitações em torno de 300-500 mm, e umidade relativa entre 60-70%. Resistem a longas estiagens, com períodos superiores a nove meses de seca (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1984 e SILVA, 1988 b).

Cresce em diferentes condições naturais de solos, mesmos que rochosos, arenosos ou salinizados (NOBRE, 1982). Desenvolve-se bem em solos ricos em nutrientes minerais, apresentando boa produção de vagens em solos com presença de calcário. Todavia, recomenda-se evitar plantios em solos muito rasos e encharcados, a fim de evitar problemas de tombamento das árvores em função dos fortes ventos e do seu sistema radicial que é predominantemente superficial. O valor do pH do solo varia entre 5,0 e 8,0 (MAYDELL, 1978 e NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1984).

Desenvolve-se bem em solos de baixada (aluviões), desde que não sejam hidromórficos (NOBRE, 1982). Nas áreas de ocorrência natural são encontradas árvores desde o nível do mar até altitudes de 1.500 m (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1984 e GOOR & BARNEY, 1976).

2.8.6 Importância e usos

A algaroba é considerada uma árvore de uso múltiplo, sendo seus frutos importante fonte de carboidratos e proteínas, principalmente para as regiões mais secas (AZEVEDO, 1982 a e MENDES, 1984). A polpa doce dos frutos e as sementes concentram cerca de 34-39% de proteínas e 7-8% de óleos (MENDES, 1988 e LIMA, 1994).

Na alimentação humana, a algaroba é utilizada na fabricação de farinhas e melados, em substituição a alguns alimentos convencionais como farinha de trigo, café e rapadura (AZEVEDO, 1982 a; LIMA, 1987; ROCHA, 1988; ALCEDO, 1988 e MENDES, 1988).

Como forragem, as vagens possuem cerca de 13% de proteína bruta (AZEVEDO, 1982 a e MENDES, 1984) e, segundo LIMA (1994), apresentam digestibilidade acima de 74%. Para as folhas, que têm baixa palatibilidade, o teor de proteína é de 18%, digestibilidade 59% e tanino 1,9% (LIMA, 1994).

A madeira é durável, com densidade básica na ordem de 0,90g/cm³ (LIMA, 1994), sendo utilizada para mourões, tábuas, dormentes, estacas para cercas, lenha e carvão (NOBRE, 1982; SILVA, 1988 b e MENDES, 1988).

Além destes usos, os plantios de algaroba tem sido realizados com finalidades de proteção do solo contra erosão, arborização de ruas, sombreamento, conservação e melhoramento de pastagens e suporte a apicultura (AMARAL, 1987; MENDES, 1988 e LIMA, 1994). Pode ser ainda utilizada para a produção de tanino e goma (FIGUEIREDO, 1987 e MENDES, 1988).

2.8.7 Silvicultura e manejo

2.8.7.1 Sementes e viveiro

O número de sementes por quilograma varia de 25.000 a 30.000. Um quilo de vagens proporciona em média 75-100 gramas de sementes puras (LIMA, 1987). O período de coleta de sementes, na região semi-árida do

Nordeste, concentra-se entre os meses de setembro e dezembro. As sementes quando devidamente armazenadas, se conservam por mais de 10 anos. Para evitar ataque de bruquídeos é necessário o expurgo com inseticida.

A capacidade germinativa das sementes é superior a 90% após o tratamento pré-germinativo (SANTOS, 1987). As mudas normalmente são produzidas em sacos plásticos medindo 8 cm de largura por 20 cm de altura (LIMA, 1994). Recomenda-se recipientes de maior comprimento em altura, em função da velocidade de crescimento das raízes (SILVA & LIMA, 1985).

As sementes após a escarificação são semeadas a uma profundidade média de 0,5 a 1,0 cm. A emergência inicia-se cinco dias após a semeadura. No ato do semeio podem ser utilizadas duas ou três sementes por recipiente e, posteriormente, após a germinação e crescimento inicial, deixar apenas a mais vigorosa. Após 60 a 70 dias do semeio, as plantas atingem altura de 20 a 30 cm e estão prontas para plantio definitivo no campo (GOMES, 1961; NOBRE, 1982 e SILVA, 1988 b).

O semeio e condução das mudas pode ser realizado a pleno sol (FREIRES & DRUMOND, 1987). O substrato utilizado se constitui na mistura de solo e esterco na proporção de 2:1. No manejo das mudas em viveiro, o principal cuidado é a limpeza dos canteiros e a irrigação. A irrigação é feita duas ou três vezes ao dia, em função do clima da região. Para evitar ação de fungos e nematóides, deve-se tratar o solo antes do semeio.

Na proporção em que as mudas forem se desenvolvendo deve-se diminuir o número de irrigações. Com isto, as mudas começam a adquirir uma maior resistência facilitando o processo de adaptação às condições de campo, onde dependerão exclusivamente das condições naturais de umidade e fertilidade do solo (LIMA, 1988).

2.8.7.2 Plantio no campo

Se não houver condições para irrigação das plantas no campo, deve-se procurar coincidir a operação de plantio com o início das chuvas na região.

As covas, preferencialmente, devem ser feitas em microbacias ou, no ato do plantio, manter um espaço sem completar com o solo retirado, deixando o colo das mudas cerca de 5 cm abaixo da borda da cova, criando assim uma pequena área de captação para a água da chuva (NOBRE, 1982 e GALVÃO & LIMA, 1987).

As covas devem ser profundas (30 x 30 x 30 cm), e recomenda-se adubação, a fim de favorecerem o rápido desenvolvimento das raízes. No ato do plantio, os recipientes plásticos devem ser totalmente retirados, a fim de facilitar o desenvolvimento das raízes e evitar também seu enovelamento (GOMES, 1961 e SILVA, 1988 b).

Os plantios podem ser puros ou consorciados com outras culturas, como, por exemplo, milho, feijão, palma forrageira (*Opuntia* sp.) e gramíneas (ALVES, 1982 e MENDES, 1988). Os espaçamentos com objetivos de produção de lenha devem ser em torno de 5 x 5 m, enquanto que para a produção de forragem é aconselhado no mínimo 10 x 10 m (GOMES, 1961; ALVES, 1982 e NOBRE, 1982).

Na associação da algaroba com capim-búfel (*Cenchrus ciliaris*), recomenda-se que a gramínea seja implantada após o estabelecimento das árvores, ou seja, quando estas estiverem com dois anos de idade, aproximadamente (RIBASKI, 1987). Se o plantio for simultâneo, deve-se manter um coroamento mínimo de um metro de raio ao redor da plântula, até o estabelecimento da espécie arbórea.

2.8.8 Produção

Para o semi-árido brasileiro é considerada uma espécie de rápido crescimento. Em condições ambientais consideradas desfavoráveis, um povoamento com oito anos de idade (280 árvores/ha) chega à atingir altura média de 6,5 m, diâmetro de copa de 6,5 m e DAP de 16 cm, equivalendo a uma produção aproximada de 10 m³ lenha/ha (LIMA, 1994).

Na região de Petrolina, PE., plantios com cinco anos de idade apresentaram um volume médio de madeira de 15 m³/ha (LIMA, 1986).

Outros resultados, obtidos em ambientes mais adequados para a espécie, mostram produções próximas de 60 m³ de madeira por hectare, aos 10 anos de idade (DRUMOND et al., 1984).

O rendimento de madeira esperado em rotações de 10 e 15 anos é de 50 a 60 t/ha e 75 a 100 t/ha, respectivamente (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1984). Para as condições semi-áridas do Brasil, a produtividade varia de 1,5 a 9,0 t/ha/ano, de acordo com o tipo e a qualidade do sítio onde a espécie é plantada. Os melhores rendimentos são obtidos em solos de baixadas, nas várzeas (ZAKIA et al., 1989).

De acordo com NOBRE (1982) e SOUZA & TENÓRIO (1982), a produção de vagens tem início a partir do segundo-terceiro ano estendendo-se, economicamente, até aos 30 anos de idade (NOBRE, 1982). Estima-se, para a região Nordeste, uma produção média de 6.000 quilos de frutos por hectare, para plantios com cinco anos de idade (SILVA, 1988 b) e, segundo AZEVEDO (1982 a), essa produção varia de 2 a 8 toneladas por hectare por ano. Dependendo da zona bioclimática em que são cultivados e manejados os algarobais, aos quinze anos de idade, podem apresentar uma produção média acima de 70 quilos de vagens por árvore (LIMA, 1994).

2.8.9 Suscetibilidade à pragas e doenças

Em algumas áreas de plantio e de população espontânea da algaroba, no Nordeste do Brasil, têm-se observado altos níveis populacionais de lagartas desfolhadoras identificadas como *Melipotis ochrodes* e *Ascia monuste orsei* (LIMA, 1994). Elas surgem no final do período seco e diminuem após o início das primeiras chuvas. Outro agente desfolhador é o gafanhoto *Stiphra robusta*, que embora em níveis populacionais mais altos, apresentam danos mais leves (LIMA, 1982).

Também foi constatada a ação dos insetos serra-paus *Oncideres limpida*, *O. aliciei*, *Nesozineus bucki*, e *Retrachydes thoracicus thoracicus* destruindo ramos e galhos das árvores a partir do segundo ano de idade (CARVALHO et al., 1968 e ARRUDA et al., 1988). A ação desses insetos

acontece no período outono-inverno e, segundo NOBRE (1982), pode ter sua proliferação reduzida, pela queima dos galhos e ramos derrubados, local onde depositam os seus ovos.

Nas vagens foram observados danos causados por *Lasioderma* sp. (ARRUDA et al., 1988) e nas sementes, danos provocados por *Mimosetes mimosae* (MORAES et al., 1981). Em algumas regiões têm-se observado também a ação danosa da abelha *Trigona spinipes*, destruindo a polpa das vagens de algaroba (LIMA, 1994).

Aparentemente, sem conseqüências mais sérias às plantas, têm-se verificado em frutos verdes ou maduros a presença de manchas escuras causadas pelos fungos *Macrophomina phaseolina*, *Colletotrichum* sp. e *Fusarium oxysporum* (MUCHOVEJ et al., 1989).

2.9 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE *Cenchrus ciliaris* L. - CAPIM-BÚFEL

2.9.1 Classificação Botânica, Origem e Introdução

O capim-búfel é classificado na família *Gramineae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Paniceae*; pertence ao gênero *Cenchrus* e é da espécie *ciliaris* (AYERSA, 1981). Segundo este autor, alguns botânicos classificam essa gramínea no gênero *Pennisetum*, denominando-a *Pennisetum ciliaris* Link ou *Pennisetum cenchroides* Rich.

Originário da África, Índia e Indonésia, o capim-búfel foi introduzido, inicialmente, na Austrália, nos anos de 1870 a 1880 e de lá se difundiu para outros países (OLIVEIRA, 1981; SILVA, 1986 e OLIVEIRA, 1993). No Brasil foram introduzidos, dentre outros, os cultivares Biloela e Gayndah, ambos procedentes da Austrália, o Molopo, procedente da África do Sul e o Americano, dos Estados Unidos, sendo estes dois últimos de menor dispersão (SILVA et al., 1981).

Existem, ainda, referências de que o capim-búfel foi trazido da África e introduzido no Estado de São Paulo em 1953, sem ter de imediato despertado

maiores atenções, visto que, naquela época o capim Pangola (*Digitaria decumbens*) estava em grande ascensão no Estado (OLIVEIRA, 1981 e OLIVEIRA, 1993). Posteriormente, com a fácil adaptação dessa gramínea às condições adversas das regiões secas, caracterizadas pela escassez e má distribuição das chuvas, sua introdução foi rapidamente disseminada por diversas áreas do semi-árido nordestino, para formação de pastagens (ALVES, 1974).

Dessa maneira, foi que essa gramínea forrageira teve ampla e maciça disseminação no Nordeste do Brasil, principalmente, a partir da microrregião de Guanambi, na Bahia, onde foram implantadas as primeiras áreas expressivas de pastagens com essa espécie (SALVIANO, 1981 e SILVA et al., 1981). As variedades de pastagens cultivadas que obtiveram maior destaque, através de pesquisas realizadas principalmente pela EMBRAPA, foram a Biloela, o Gayndah e o Americano (OLIVEIRA, 1981).

Atualmente, dentre as variedades comerciais inicialmente introduzidas na região, a Biloela tem tido maior destaque para a produção animal, sendo que as variedades Americano e Gayndah quase que são desconhecidas pela maioria dos produtores (OLIVEIRA, 1993). Existe, ainda, segundo este mesmo autor, uma variedade conhecida apenas pelo nome de “Buffel Grass”, que possivelmente seja a mais cultivada no Nordeste, especialmente no Estado da Bahia.

O capim-búfel também é conhecido em outros países por diversos nomes vulgares como zácate buffel, pasto salinas, buffel grass, anjan, blue buffalo, african foxtail, rhodesian foxtail, bunch grass, kollukattai grass, dhaman, charwa, guezmir, trongatse, sibouss, k’arangiyar, azbin, ou munana (AYERZA, 1981).

2.9.2 Descrição botânica

É uma gramínea perene com hábito de crescimento muito variável (AYERZA, 1981 e SILVA, 1986). Apesar de terem sido constatadas formas anuais, em condições de extrema aridez, nas localidades de Bikanar, Barmer,

Jaislamer, Sikar e Jhunjhun, no oeste da Índia (Pandera et al., 1978, citados por AYERZA, 1981). Seu crescimento é estival, apresentando colmos geniculados e, dependendo da variedade, podem alcançar entre 15 e 150 cm de altura (a Biloela atinge de 1 a 1,5 m de altura). Os colmos são finos, com as bases inchadas, onde acumulam mais carboidratos que outras espécies (HUMPHREYS, 1980). As folhas são planas e lineares, glabras ou ligeiramente pubescentes na base, especialmente próximo da lígula. Medem ao redor de 3 a 10 mm de largura, quando estão estendidas, e terminam em ponta, com um comprimento variando de 7 a 30 cm. As inflorescências têm a forma característica de rabo de raposa. As sementes estão fechadas em finas cerdas e cada grupo de cerdas pode conter mais de uma semente, sendo que as variedades Biloela e Molopo, normalmente apresentam uma percentagem bastante alta de sementes únicas. Possuem um sistema radicial bastante desenvolvido e profundo, chegando às vezes até 1-1,5 m e dependendo da variedade pode também apresentar rizomas mais ou menos desenvolvidos (AYERZA, 1981).

2.9.3 Reprodução e multiplicação

Propaga-se por sementes ou, ainda, por meio de rizomas. Esta última forma é quase unicamente possível nas variedades de porte erguido. O sistema reprodutivo não atua de modo idêntico em todas as plantas, e se conhece muitas variações do mecanismo convencional. As formas de reprodução assexuada, ou seja, sem fecundação, que algumas vezes se parecem exteriormente com a reprodução sexual, existe com certa regularidade em algumas espécies desse gênero. Assim, a reprodução de *Cenchrus ciliaris*, de acordo com SNYDER et al. (1955), é apomítica. Porém, nem todos os autores concordam que a apomixia no capim-búfel é obrigatória. Bray (1968), citado por AYERZA (1981), comenta que cruzamentos ocorridos naturalmente entre *C. setigerus* e *C. ciliaris* indicam que a apomixia é facultativa nesta última espécie.

2.9.4 Clima e solos

Adaptado às regiões tropicais e subtropicais, com chuvas de verão e longos períodos de seca, o capim-búfel, de maneira geral, apresenta melhor desenvolvimento em solos arenosos e profundos, podendo também crescer satisfatoriamente em solos argilosos que apresentem boa drenagem. Não se adapta à solos hidromórficos, porém, algumas variedades mais rizomotosas como o Molopo, podem estabelecer-se em solos ligeiramente argilosos (SILVA, 1986). Por outro lado, áreas pedregosas têm demonstrado favorecer o desenvolvimento do capim, o que se atribui à melhor conservação de umidade do solo nesses locais (OLIVEIRA, 1993).

Com relação à fertilidade do solo, são considerados pouco exigentes e moderadamente tolerantes à salinidade (SILVA, 1986). Entretanto, estudos mais recentes têm revelado um efeito marcante do fósforo no crescimento radicial das plantas novas de capim-búfel, acelerando seu estabelecimento, o que é bastante desejável em condições semi-áridas (OLIVEIRA, 1993).

2.9.5 Importância e potencial da espécie

Pesquisas realizadas em vários pontos da zona seca do Nordeste têm demonstrado que o capim-búfel mostra-se muito promissor para elevar a oferta de alimentos durante todo o ano e, conseqüentemente, melhorar o desempenho da pecuária nordestina (FREIRE et al., 1982). Experiências conduzidas em regiões semi-áridas da Paraíba e do Ceará, com precipitações médias respectivas de 360 mm e 600 mm, demonstram que é possível atender a uma carga de pastoreio (animal / área) em torno de 1:1,5. Essa relação significa que as pastagens de capim-búfel aumentam, em torno de 10 vezes a capacidade média de suporte naquelas regiões (EMATER-PB, 1979).

A variedade Biloela é a mais difundida entre os produtores e também é a mais pesquisada na região, visto que, essa gramínea em particular, já foi avaliada em canteiros e sob pisoteio demonstrando a sua superioridade sobre as demais espécies em exploração (SILVA, 1986).

Resultados preliminares de avaliação do desempenho de novilhos em pastagem de capim-búfel (*C. ciliaris* var. Biloela), realizada em Petrolina, PE., indicam que a capacidade de suporte e ganhos de peso vivo por hectare, obtidos na pastagem de capim-búfel, poderão ser superiores, em 13 e 40 vezes, respectivamente, quando comparados aos obtidos na pastagem nativa (SALVIANO et al., 1981).

Estudos comparativos de rendimentos de um hectare de caatinga bruta com um hectare de capim-búfel, para a produção de bovinos, mostraram que o rendimento, quanto a produção de carne, variou de 4 kg/ha na caatinga para 60 kg/ha na pastagem cultivada com capim-búfel. Em termos proporcionais, isso significa um aumento de 1.400% (FREIRE et al., 1982).

O capim-búfel é a gramínea forrageira que se apresenta com maior destaque em resistência à seca entre as pastagens cultivadas nas regiões secas do Nordeste e, segundo OLIVEIRA (1993), pode-se dizer que a introdução desta forrageira nestas áreas, foi o marco inicial de uma nova era para a pecuária que ali se desenvolve.

2.9.6 Estabelecimento e manejo

2.9.6.1 Período de dormência

Para alcançarem um alto percentual de germinação, as sementes de capim-búfel devem ser plantadas seis meses após a data de colheita, que é o período mínimo necessário para quebra da dormência fisiológica que elas apresentam. Uma prática recomendável, já adotada por muitos produtores, é utilizar para o plantio sementes colhidas no ano anterior na própria fazenda (OLIVEIRA, 1993).

2.9.6.2 Métodos de plantio

O capim-búfel pode ser plantado em sulcos, covas ou a lanço. Muitas vezes, porém, não consegue estabelecer a pastagem numa primeira tentativa, devido ao desconhecimento do método de plantio mais adequado para as condições locais. Geralmente é mais fácil estabelecer essa gramínea em áreas de caatinga recém-desmatadas do que nas anteriormente cultivadas. Isto porque, no segundo caso, ocorre com maior frequência um elevado número de plantas invasoras que competem por luz, água e nutrientes com o capim logo após a sua germinação, prejudicando sensivelmente o seu desenvolvimento (OLIVEIRA, 1993).

Visando minimizar esse problema, o preparo do solo e o plantio deverão ser realizados, segundo ao mesmo autor, alguns dias após as primeiras chuvas, para que se destrua grande parte das plantas invasoras que já tenham germinado ou rebrotado. Outra recomendação feita para essas áreas anteriormente cultivadas é fazer o plantio em covas ou em sulcos, o que, embora um pouco mais caro, facilita a capina manual ou mecanizada, permitindo, assim, um desenvolvimento satisfatório das plantas.

Com relação às áreas de caatinga recém-desmatadas, uma prática bastante usada pelos criadores do sertão nordestino, e com sucesso, é o desmatamento manual, sem destocamento, com queima uniforme no local e semeio do capim a lanço ou em covas. Entretanto, vale salientar que o destocamento, quando realizado, facilita as operações de colheita de sementes e roçagem (OLIVEIRA, 1993).

2.9.6.3 Semeadura

A quantidade de sementes a ser plantada varia de 5 a 10 kg/ha e a semeadura é preferencialmente manual, visto que os pêlos das sementes dificultam o uso de plantadeiras. O espaçamento pode variar de 0,50 a 1,00 m entres covas, deixando-se em média 70 sementes por cova. Enquanto que, no plantio em sulcos, estes podem ser distanciados de 0,50 a 1,00 m uns dos

outros, com aproximadamente 70 sementes por metro linear. A cobertura das sementes não é obrigatória, porém tem sido observado que uma leve cobertura de terra tem favorecido o estabelecimento do capim, pois, evita que a ação dos ventos desloque as sementes recém plantadas.

O semeio a lanço, apesar de ser mais rápido e mais barato, é melhor recomendado para grandes áreas, onde haja escassez de mão de obra. Para esse método de plantio recomenda-se que o solo seja condicionado para fixar as sementes, o que pode ser feito por meio de escarificação com correntões, ou, ainda, através do uso de arado ou grade em terrenos destocados (OLIVEIRA, 1993).

2.9.6.4 Tratos culturais

De acordo com OLIVEIRA (1993), o manejo adequado de uma pastagem de capim-búfel pode reduzir consideravelmente a necessidade de tratos culturais. Para isso, o pastejo deve ser controlado de maneira que, no final de período seco, o capim apresente um resíduo de talos com uma altura média em torno de 10 a 15 cm, o que equivale à aproximadamente 100 a 150g/m² de matéria seca (MS), o que, por sua vez, corresponde a um estoque residual de 1.000 a 1.500 kg/ha de MS. Essa técnica de manejo é importante para proteger o solo contra a erosão e para que a pastagem não seja degradada e invadida por plantas indesejáveis, as quais, se surgirem, devem ser combatidas periodicamente.

O controle das plantas invasoras deve ser realizado do modo que mais se adapte às condições do agricultor, podendo ser manual, mecânico, químico, biológico ou através de fogo controlado.

2.9.7 Produtividade

Os estudos sobre o capim-búfel têm demonstrado que a produtividade das suas diversas variedades varia de acordo com a resposta às condições locais. No entanto, produtividades variando de 4 a 12 t/ha de matéria seca

têm sido verificadas em campos experimentais no Nordeste (OLIVEIRA, 1993).

OLIVEIRA et al. (1988), estudando o comportamento de diferentes gramíneas forrageiras sob condições de pastejo intensivo por bovinos, concluíram que o capim-búfel (*C. ciliaris* var. Biloela) foi a espécie que apresentou o melhor resultado, em termos de disponibilidade de forragem e capacidade suporte e, proporcionou maior ganho de peso aos animais, em comparação com outras forrageiras avaliadas (*Urochloa mosambicensis*, *Cenchrus setigerus*, *Rynchelytrum repens* e *Panicum maximum*). Constituiu-se, assim, na espécie de maior potencial forrageiro para as regiões secas do Nordeste.

Na avaliação do desenvolvimento e produtividade de treze cultivares de capim-búfel, realizada por SILVA et al. (1987), a Biloela ocupou a terceira colocação, com uma produtividade média de 5.355 kg/ha por ano, não diferindo significativamente das primeiras colocadas, Molopo com 6.750 kg/ha e CPATSA 7752 com 5.672 kg/ha (média de quatro anos).

2.9.8 Suscetibilidade à pragas e doenças

Nos Estados de Tamaulipas, Nuevo Leon e Coahuila, no México, o capim-búfel é atacado pelo inseto *Eneolamis postica* Walker, que causa sérios danos à pastagem. Também existem registros de ataques de *Claviceps purpurea* sobre essa gramínea, no leste da África, embora esse fato não seja muito comum (AYERZA, 1981).

Na região semi-árida do Nordeste brasileiro tem se constatado o ataque de alguns insetos desfolhadores, como por exemplo o gafanhoto *Stiphra robusta* e a lagarta dos capinzais (*Mocis latipes*), que podem causar danos generalizados e bastantes significativos na maioria das pastagens de capim-búfel da região.

As formigas cortadeiras do gênero *Atha*, também ocorrem com bastante frequência na região. Se não forem controladas podem representar

uma séria ameaça para essa gramínea, principalmente, nos primeiros dias, logo após a germinação das sementes.

Também foi observado nas folhas do capim-búfel, em diversas ocasiões, a presença do fungo *Piricularia* sp., que ataca as plantas em qualquer estágio de crescimento, sendo que na fase de implantação da pastagem pode causar a morte de mais de 90% das plântulas (SILVA, 1986).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A área onde foi realizado o presente estudo, pertence ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (Embrapa Semi-Árido) e está situada no município de Petrolina, Estado de Pernambuco, tendo como principal acesso a BR 428, que faz a ligação Petrolina - Recife. Esta propriedade, onde está inserida a área experimental, possui 2776 ha, e, está compreendida entre 9° 01' 00" e 9° 07' 06" de latitude sul e 40° 17' 28" e 40° 21' 33" de longitude oeste, distante, aproximadamente, 40 km do centro da cidade de Petrolina (Figura 1).

3.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

Segundo SILVA et al. (1993), a área faz parte da unidade de paisagem Depressão Sertaneja, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, com paisagem típica do semi-árido nordestino, relevo predominantemente suave-ondulado e cortada por vales estreitos com vertentes dissecadas. Elevações residuais, onde cristas e/ou outeiros destacam-se na linha do horizonte e se apresentam como as remanescentes dos ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino.

3.2.1 Geologia e material de origem

A área, geologicamente, pertence ao Grupo Salgueiro do Pré-Cambriano Superior, constituído de xistos e gnaisses micáceos contendo intercalações de quartzitos e calcários cristalinos (DANTAS, 1980), com cobertura pedimentar composta por materiais arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos e material macroclástico, principalmente concreções ferruginosas e seixos de quartzo (BRASIL, 1973).

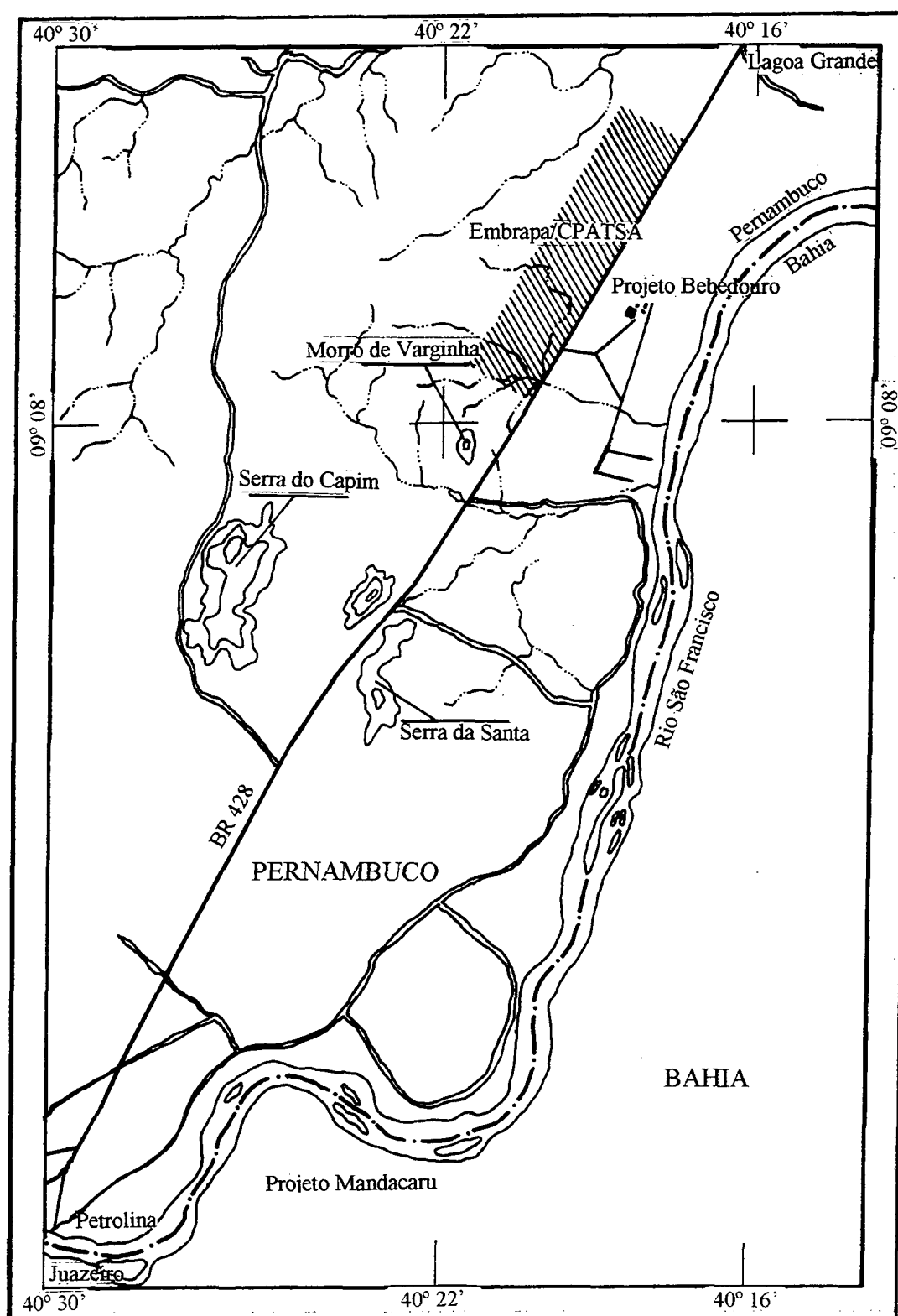


Figura1. Localização da área de estudo em relação às cidades de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA).

Entretanto, a presença de grãos subarredondados e mesmo de alguns arredondados, constatada na análise mineralógica dos cascalhos e das areias de alguns perfis, sugere, para esta cobertura, uma origem sedimentar, provavelmente, relacionada com o fim do Plioceno a início do Pleistoceno, a exemplo de outras áreas já encontradas no município (BURGOS & CAVALCANTI, 1990).

3.2.2 Clima

De acordo com a classificação climática de Köppen, a área de estudo enquadra-se como BSw^h. Trata-se portanto, de clima semi-árido quente, com estação chuvosa no verão, período em que a evaporação é forte em consequência das altas temperaturas (BRASIL, 1973). Na classificação de Thornthwaite, o clima pertence ao tipo árido tropical, onde ocorre um período seco de 9 a 11 meses, e as precipitações têm um regime de distribuição muito irregular, com médias anuais variando entre 250 e 550 mm (GOLFARI & CASER, 1977).

Segundo AMORIM NETO (1985), o período chuvoso concentra-se entre os meses de novembro a abril, sendo o mês de março o mais úmido do ano. Embora, para séries históricas, a média da região seja da ordem de 400 mm, tem-se constatado, nesses últimos 20 anos, precipitações pluviométricas em torno de 570 mm anuais. Mesmo assim, o balanço hídrico apresenta como principal característica a existência de deficiência hídrica durante todo ano. Ainda, nesse mesmo trabalho, o autor constatou para temperatura do ar valores médios anuais de 26,5°C, evaporação 2.600 mm, umidade relativa do ar 61% e velocidade do vento, a 2 metros de altura, 197 km/dia.

Considerando-se as informações meteorológicas do Campo Experimental de Bebedouro, pelas suas proximidades e peculiaridades, extrapoláveis para a área de sequeiro da Embrapa Semi-Árido, onde foi instalado o experimento, os dados referentes às médias de temperatura e umidade relativa, bem como, as precipitações mensais acumuladas durante o período experimental e as médias dos últimos 35 anos, são mostradas na Quadro 1.

QUADRO 1. Média mensal das temperaturas máxima e mínima (°C), umidade relativa do ar (%), precipitação acumulada mensal (mm) e evaporação mensal (mm), durante o período experimental, comparadas à normal (médias de 35 anos).

| Meses | Temperatura Média | | | | U. relativa | | Precipitação | | | Evaporação | |
|--------|-------------------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------------|---------|--------|------------|--------|
| | Máxima | Normal | Mínima | Normal | Média | Normal | Total 1 | Total 2 | Normal | Média | Normal |
| Ago/97 | 31,1 | 30,8 | 21,5 | 18,5 | 63 | 59 | 0,0 | 0,0 | 4,9 | 232,8 | 245,8 |
| Set/97 | 35,2 | 32,5 | 23,2 | 19,9 | 53 | 54,4 | 0,0 | 0,0 | 5,1 | 272,1 | 275,4 |
| Out/97 | 35,1 | 33,9 | 24,4 | 21,3 | 59 | 53,1 | 68,5 | 57,6 | 10,7 | 275,9 | 299,7 |
| Nov/97 | 34,3 | 33,8 | 24,3 | 22,0 | 65 | 56,8 | 39,5 | 14,8 | 48,5 | 261,0 | 270,9 |
| Dez/97 | 35,2 | 33,0 | 25,1 | 21,8 | 66 | 62,4 | 33,6 | 20,4 | 74,6 | 263,5 | 239,9 |
| Jan/98 | 33,4 | 32,4 | 24,4 | 21,5 | 79 | 65,6 | 153,5 | 192,9 | 74,1 | 207,7 | 227,2 |
| Fev/98 | 34,3 | 31,9 | 24,7 | 21,7 | 72 | 66,8 | 65,9 | 62,8 | 86,1 | 210,0 | 199,3 |
| Mar/98 | 35,4 | 31,7 | 24,9 | 21,5 | 78 | 70,7 | 15,7 | 16,6 | 138,2 | 238,7 | 195,3 |
| Abr/98 | 35,4 | 31,1 | 24,4 | 21,1 | 74 | 71,8 | 6,4 | 4,0 | 86,6 | 246,0 | 180,9 |

Total 1 (Estação meteorológica de Bebedouro)

Total 2 (Pluviômetro instalado a 100 m do experimento)

3.2.3 Vegetação

A vegetação do local é constituída por um conjunto de formações arbóreo-arbustivas, denominadas, genericamente, caatinga, onde existe a predominância de leguminosas, geralmente espinhosas, de folhas pequenas, decíduas na época seca. Apresenta, ainda, uma grande variabilidade nos aspectos fisionômico, florístico, sociológico e ecológico, em função da quantidade e distribuição das chuvas, da disponibilidade de água no solo, da altitude do local, da exposição topográfica e do tipo de solo (GOLFARI & CASER, 1977).

Segundo VELOSO et al. (1991), essa vegetação é classificada como Savana Estépica ou, ainda, Savana Estépica Arborizada (IBGE, 1992). Trata-se de várias formações que constituem “um tipo de vegetação” estacional-decidual, com estratos arbóreo e gramíneo-lenhoso periódicos e com numerosas plantas suculentas, sobretudo cactáceas. As árvores, em geral,

são baixas e raquíticas, de troncos delgados e com esgalhamento profuso. Muitas espécies são microfoliadas e outras providas de acúleos ou espinhos. A maioria delas demonstra possuir adaptações fisiológicas bastantes especializadas à economia de água.

Esse tipo de vegetação também é denominado caatinga hiperxerófila (BRASIL, 1973 e SILVA et al., 1993). E no caso particular da área de estudo, a vegetação nativa presente ao redor do experimento é predominantemente arbustiva-arbórea, pouco densa a densa, cujo porte mais elevado é definido pelas braúnas *Schinopsis brasiliensis* Engl., que chegam a alcançar 20 metros de altura. Também destacam-se, nesse cenário, outras espécies de porte um pouco menor representadas pelo faveleiro *Cnidoscolus phyllacantus* (Mull. Arg.) Pax & K. Hoffm.; imbiragu *Pseudobombax simplicifolium* A. Rolym J.; aroeira *Astronium urundeuva* (Fr. All.) Engl.; imburana-de-cambão *Bursera leptophloeos* Mart.; angico *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan; sete-cascas *Tabebuia spongiosa* Rizz. (BURGOS & CAVALCANTI, 1990).

A jurema-preta *Mimosa hostilis* Benth, de porte arbóreo-arbustivo, se apresenta como a espécie mais representativa da área, seguida por outras arbustivas como caroá *Neoglaziovia variegata* Mez.; quebra-faca *Croton* sp.; mororó *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud.; pinhão *Jatropha pohiliana* Muell. Arg.; moleque-duro *Cordia leucocephala* Moric.; carqueja *Calliandra depauperata* Benth.; alecrim *Lippia microphylla* Cham.; catingueira-rasteira *Caesalpinia microphylla* Mart. e marmeleiro *Croton* sp. Também compõem a flora local, várias cactáceas, com destaque para o mandacarú *Cereus jamacaru* P. DC. e para o facheiro *Pilosocereus* sp., além de outras espécies arbóreas endêmicas como é o caso do umbuzeiro *Spondias tuberosa* Arr. Cam. (LIMA, 1994).

3.2.4 Solos

De modo geral, os solos da região são predominantemente arenosos, variando de extremamente rasos a pouco profundos, com freqüentes afloramentos rochosos, possuindo, ainda, baixa capacidade de retenção de

umidade e vulnerabilidade à erosão (EMBRAPA, 1979). Na região de Petrolina, PE. (margem esquerda do rio São Francisco), predominam solos mais profundos de fertilidade natural baixa (SILVA et al., 1993).

No levantamento detalhado dos solos da área de sequeiro da Embrapa Semi-Árido, realizado por BURGOS & CAVALCANTI (1990), constatou-se o grande predomínio dos Podzólicos Vermelho-Amarelos Tb Eutróficos abruptos, plínticos ou não, que foram separados em profundos, fase pedregosa III, fase pedregosa I e os rasos, quase sempre Álicos ou Distróficos e pouco pedregosos. Os demais solos, menos de 2% da área mapeada, foram classificados como Planossolos e Vertissolos.

Nesse mesmo trabalho, a área experimental ficou representada pelo perfil 9 (27), classificada pelos autores como Podzólico Vermelho-Amarelo Tb Eutrófico, profundo, abrupto, plíntico A fraco, textura média (leve)/média/argilosa, fase caatinga hiperxerófila, declividade 0-2%. A área apresenta, ainda, altitude de 373 metros, relevo plano, não pedregosa, não rochosa, ligeira erosão laminar e drenagem moderada a imperfeitamente drenada.

De acordo com o novo sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999), esses solos da área experimental passaram a ser classificados como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO. Essa classe é representada por uma grande parte dos solos que possuem horizonte diagnóstico B textural e argila de atividade baixa. Trata-se de solos que apresentam perda de argila no horizonte A e incremento no horizonte B, revelando elevado gradiente textural.

3.3 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado em uma área de dois hectares (100 m x 200 m), ocupada por um sistema silvipastoril que foi implantado em janeiro de 1982, envolvendo a associação da algaroba (*Prosopis juliflora*) com o capim-búfel (*Cenchrus ciliaris* var. Biloela).

Foram plantadas, inicialmente, três fileiras de árvores, no espaçamento de 10 metros entre plantas. Duas dessas fileiras foram dispostas margeando internamente os limites da área, a uma distância de 10 metros do seu perímetro e, dividindo essa área ao meio, ao longo dos 200 metros, foi implantada a outra fileira, no mesmo espaçamento, ficando essa linha central distante 40 metros de cada fileira lateral (Figura 2a).

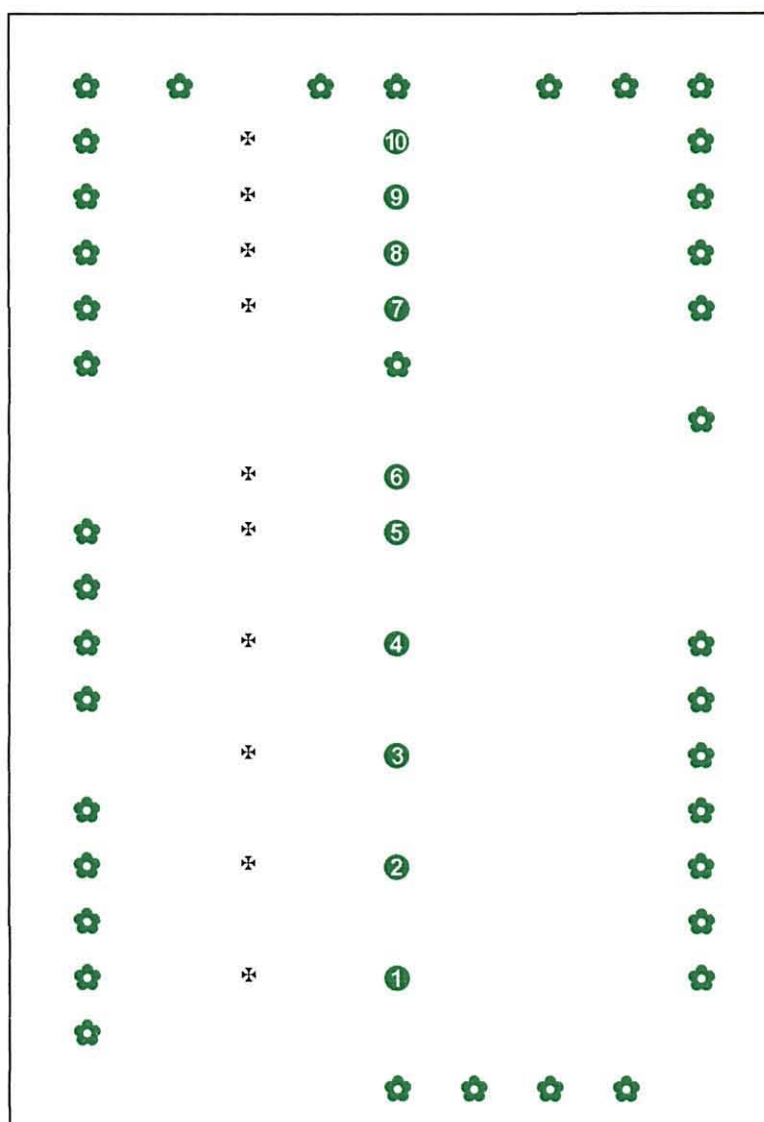


Figura 2a. Representação esquemática da área experimental mostrando a distribuição das árvores selecionadas ① a ⑩, os respectivos pontos de amostragem ✕, fora da influência da espécie florestal, e as demais árvores de algaroba 🌳 não utilizadas neste estudo.

Na ocasião da instalação do experimento (agosto de 1997), as árvores estavam com 15 anos de idade e após a mortalidade de algumas delas, a área total apresentava 48 plantas remanescentes, ocupando cada indivíduo, aproximadamente, 400 m². Para diminuir a influência de fatores externos sobre os resultados do experimento, como possíveis problemas de interferência da vegetação nativa presente ao redor da área, foram selecionadas para o estudo somente as (dez) árvores da fileira central (Figuras 2a e 2b).

A área experimental era normalmente usada para pastoreio por bovinos adultos (quatro animais de tração), sendo que três meses antes da implantação do experimento, esses bovinos foram retirados do local e a área foi totalmente cercada, evitando a entrada de animais (exceto algum animal silvestre) durante o desenvolvimento do estudo.



Figura 2b. Vista parcial da área experimental, mostrando a distribuição das árvores de algaroba (*Prosopis juliflora*) na pastagem de capim-búfel (*Cenchrus ciliaris*), no período chuvoso.

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com 10 repetições e três tratamentos (A, B e C). Cada parcela foi representada por uma árvore e seu ponto correspondente de amostragem, distante 20 metros de cada árvore selecionada, representando as parcelas solteiras (ponto C), ou seja, a pastagem fora da influência do componente arbóreo (Figura 3).

Sob as árvores, posicionadas exatamente na metade do raio da copa, foram colocadas quatro estacas de ferro indicando os quatro pontos cardeais. Estas marcas fixas serviram de orientação para definir os pontos de coleta de dados, representados pelo ponto A - aqueles mais próximos do fuste e ponto B - aqueles mais próximos ao limite da projeção da copa das árvores.

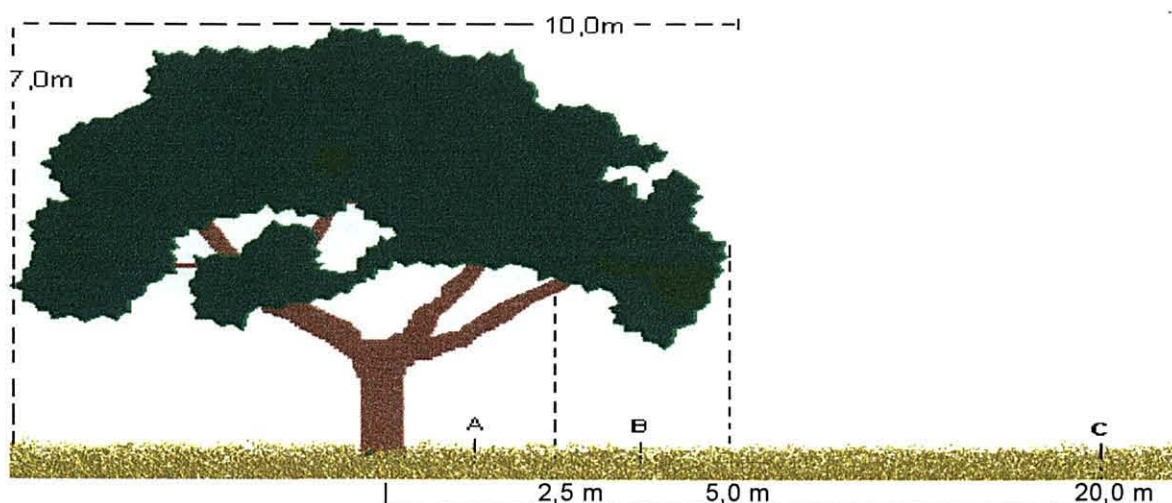


Figura 3. Dimensões médias das árvores, usadas como referência para marcar os pontos de coletas de dados (tratamentos A, B e C).

Tratamentos: Ponto A – localizado entre o fuste e o raio médio da copa;
 Ponto B – entre o raio médio da copa e o limite da projeção;
 Ponto C – fora da área de influência das árvores.

Adotou-se o procedimento de duas mensurações sob a copa das árvores, em função das diferenças visuais observadas com relação a produção de biomassa forrageira (aparentemente mais abundante próximo ao tronco das árvores). As médias das diferentes variáveis estudadas foram comparadas pelo teste de F, através dos contrastes ortogonais A vs. B e $(A+B)/2$ vs. C, seguindo a metodologia de Testes de Contrastes entre Médias de Tratamentos, proposta por OLIVEIRA (1994), como alternativa para análise estatística de experimentos que envolvem associações de culturas em sistemas agroflorestais.

3.5 COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados em duas épocas distintas, no período seco, entre os meses de agosto e setembro de 1997 e no período chuvoso, entre março e abril de 1998 (vide Quadro 1), sempre tendo como referência, para a coleta dos dados das diferentes variáveis, os pontos A, B e C.

Para a algaroba (*Prosopis juliflora*) foram feitas mensurações dendrométricas, caracterizadas pela altura total de cada árvore, altura da copa, altura do fuste, diâmetro da copa e diâmetro da base. Foram medidos os níveis de radiação incidente sobre a pastagem cultivada sob a copa das árvores e, também, foram coletadas amostras de folhas para determinação do nível nutricional das árvores.

Para o capim-búfel (*Cenchrus ciliaris*), foram realizadas uma série de amostragens visando a determinação de variáveis fisiológicas, nutricionais e de produção, as quais consistiram de leituras diretas sobre as plantas, corte e pesagem da matéria seca produzida e, ainda, coleta de amostras de folhas para análises laboratoriais, visando a determinação da composição químico-bromatológica da pastagem, área foliar específica e conteúdo de clorofila. Para o solo, foram coletadas amostras visando a determinação dos teores de umidade e a fertilidade.

3.5.1 Determinação de parâmetros dendrométricos

A altura total e as alturas da copa e do fuste das árvores foram determinadas com o auxílio de uma vara de alumínio graduada de 10 em 10 centímetros. Para se obter o diâmetro da copa, utilizou-se o mesmo instrumento de medição, tomando-se a média dos dois diâmetros cruzados, medidos no sentido norte-sul e leste-oeste. O diâmetro da base das árvores, medido à 10 cm do solo, foi obtido por meio de uma fita diamétrica.

3.5.2 Determinação do percentual de sombreamento da algaroba

Para calcular o percentual médio de sombreamento proporcionado pela árvores sobre a pastagem foi necessário determinar a quantidade de radiação incidente sob a copa de cada árvore e compará-la com radiação a céu aberto, fora da influência do componente arbóreo. Para essa determinação foram utilizados sensores tipo LI-191SA (*line quantum sensor*) acoplados a um “datalogger” LI-1000, equipamentos da LI-COR.

A mensuração foi feita nos períodos seco e chuvoso, constituindo-se de quatro leituras por árvore e nos seus respectivos pontos a céu aberto. Os pontos de amostragem sob as árvores foram previamente marcados, tendo como referência o raio médio da copa e os quatro pontos cardeais (Figura 3).

3.5.3 Amostragem do solo

As amostras de solo foram retiradas a uma profundidade de 0-20 cm, nos locais representados pelos pontos A e B, sob a copa das árvores, e no solo cultivado exclusivamente com a gramínea, ponto C. Para determinação do nível de fertilidade foram tomadas 10 amostras compostas (quatro subamostras) por tratamento e, para umidade, 20 amostras simples por tratamento, para cada período climático estudado.

3.5.4 Determinação da umidade e da fertilidade do solo

O preparo das amostras para as análises do solo seguiu as determinações metodológicas contidas no manual de métodos e análises de solo (EMBRAPA, 1997). A umidade foi determinada pelo método de gravimetria, no laboratório de solos do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (Embrapa Semi-Árido). Já, as análises químicas, das amostras coletadas em campo, foram realizadas no laboratório de solos e nutrição de plantas do Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Embrapa Florestas), onde foram determinados os macronutrientes N, P, K, Ca e Mg, além do pH em CaCl_2 e os teores de matéria orgânica (M.O.), seguindo as descrições do referido manual.

3.5.5 Preparação das amostras e análise foliar da algaroba

Foram coletadas amostras de folhas, do terço médio da copa, de cada uma das 10 árvores selecionadas, na posição de maior exposição ao sol (face norte-nordeste). As amostras foram preparadas para serem analisadas conforme procedimentos descritos por SILVA (1990), o qual consistiu, basicamente, da secagem do material em estufa com circulação forçada de ar, durante 48 horas e a uma temperatura de $60 \pm 5^\circ\text{C}$ e posterior trituração em moinho tipo Willey, por cerca de 10 minutos, utilizando-se peneira com malha de 20 “mesh”.

A determinação do nitrogênio foi feita pelo processo semi-micro Kjeldahl. O fósforo pelo método colorimétrico. O cálcio, o magnésio e o potássio em espectrofotômetro de absorção atômica, de acordo com SARRUGE & HAAG (1974). Todas essas determinações foram feitas nos laboratórios do Centro Nacional de Pesquisas de Florestas (Embrapa Florestas).

3.5.6 Determinação de parâmetros de trocas gasosas na pastagem de capim-búfel

As avaliações foram feitas diretamente nas folhas da gramínea, sob a copa das árvores, em posições representativas dos pontos A e B, e na área fora da influência do componente arbóreo (ponto C), com o auxílio do medidor de fotossíntese portátil (LI-6200). Com o mesmo aparelho, também foram mensuradas, simultaneamente, outras variáveis como intensidade luminosa, temperatura da folha, temperatura do ar e umidade relativa.

No período seco, não foi possível obter o número preestabelecido de dados sobre a gramínea, pois a escassez de folhas verdes e o déficit hídrico nos locais das amostragens prejudicou a leitura da fotossíntese no aparelho, principalmente, nas horas mais quentes dos dias amostrados. Foram conseguidas mensurações com resultados confiáveis somente sob a copa de quatro das 10 árvores inicialmente previstas no estudo e em seus respectivos pontos a céu aberto.

Todavia, na época chuvosa, as leituras foram realizadas durante três dias consecutivos (11, 12 e 13/03/98), sempre no mesmo período, entre as 8:30 e 10:30 horas da manhã. Sob a copa das árvores, as mensurações foram feitas sempre no quadrante sudoeste, que era o que apresentava sombreamento mais uniforme.

A eficiência fotossintética relativa (EFR) foi calculada através da relação entre a fotossíntese medida nas folhas da gramínea e a respectiva intensidade luminosa recebida (*radiação fotossinteticamente ativa* – RFA). Utilizando a expressão:
$$EFR = \text{Fotossíntese } (\mu\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}) / RFA (\mu\text{E.s}^{-1}.\text{m}^{-2}).100.$$

3.5.7 Determinação do conteúdo de clorofila nas folhas do capim-búfel

O material utilizado para a extração dos pigmentos foi obtido da mesma folha, onde se procedeu a mensuração da fotossíntese e dos outros parâmetros fisiológicos. Assim, pela escassez natural de material para análise, não foi determinado o conteúdo de pigmentos no período seco.

Em campo, o material foi acondicionado em sacos de papel e colocado em caixa de isopor com gelo. Posteriormente, foi transportado até o laboratório de fisiologia vegetal da Embrapa Semi-Árido, onde se procedeu a sua preparação para submetê-lo à extração dos pigmentos.

Na amostragem para análise, foram utilizadas, aproximadamente, 40 miligramas (peso verde) de folhas da gramínea por tratamento e, na extração dos pigmentos, utilizou-se 5 ml de dimetilsulfóxido (DMSO), com 99% de pureza, por tubo de ensaio (BARNES et al., 1992). As folhas foram cortadas em pedaços pequenos para facilitar o processo de extração, o qual foi realizado em banho-maria à uma temperatura de 65°C, durante um período aproximado de 2 horas. O processo de extração foi considerado completo quando as frações amostradas tornaram-se visualmente transparentes.

A leitura da extinção dos extratos foi feita em espectrofotômetro FEMTO modelo 482 e a determinação da concentração dos pigmentos (clorofila *a* e *b*) foi feita usando-se as fórmulas preconizadas por BARNES et al. (1992). A concentração de clorofila foi calculada utilizando-se, nas fórmulas, o peso de matéria verde foliar da amostra ($\mu\text{gCh.mg}^{-1}$ – micrograma de clorofila por miligrama de material foliar).

$$C_a = 14,85(A_{665}) - 5,14(A_{648})$$

$$C_b = 25,48(A_{648}) - 7,36(A_{665})$$

onde: C_a = quantidade de clorofila *a*, em $\mu\text{g.cm}^{-3}$ extrato;

C_b = quantidade de clorofila *b*, em $\mu\text{g.cm}^{-3}$ extrato e

A_{648} e A_{665} = absorbância como indicada no comprimento de onda.

3.5.8 Determinação da área específica foliar do capim-búfel

O material usado para determinação da área específica foliar da gramínea foi obtido das mesmas folhas usadas na câmara do aparelho de medição de fotossíntese, por ocasião das leituras das variáveis fisiológicas. Em função disso, o número de repetições conseguidas no período seco, foi menor do que na época chuvosa, ou seja, somente quatro.

As folhas foram cortadas, acondicionadas em sacos de papel e colocadas em caixa de isopor com gelo, para evitar a perda de umidade e, em seguida, foram transportadas até o laboratório de fisiologia vegetal da Embrapa Semi-Árido, onde procedeu-se a pesagem em balança analítica (0,1 miligrama de precisão) marca OHAUS. Posteriormente, para obtenção do peso seco, esse material foi colocado para secar em estufa, durante 48 horas e a uma temperatura de 105°C e, novamente pesado, na mesma balança.

Os dados referentes à área foliar foram obtidos por meio de um medidor (areameter) da marca LI-COR, modelo LI-3100.

3.5.9 Produção de biomassa verde da pastagem de capim-búfel

Foram realizados dois cortes no capim-búfel, um em cada período climático, ambos a uma altura média de 5 cm do solo. A quantificação da biomassa verde da gramínea foi feita mediante corte e pesagem de todo material disponível na parte aérea, em uma área de 1 m². Em cada árvore foram amostradas quatro áreas por tratamento, usando um retângulo de ferro com dimensões de 2 m x 0,5 m.

Na amostragem da gramínea no ponto A, o retângulo de ferro foi colocado, no seu maior comprimento, entre o fuste e a estaca de ferro que indicava a metade do raio da copa, nos quadrantes nordeste, noroeste, sudoeste e sudeste. O mesmo procedimento foi adotado com relação ao ponto B, sendo o retângulo colocado entre a estaca de ferro e o limite da projeção da copa. Para a gramínea cultivada fora da área de influência das árvores, as amostras foram coletadas nos mesmos quadrantes, tomando-se como referência as estacas de ferro que indicavam os locais do ponto C.

3.5.10 Determinação da matéria seca do capim-búfel

Antes de efetuar o corte para quantificar a biomassa forrageira, foram coletadas quatro subamostras representando cada uma um quadrante a ser cortado, obtendo-se, assim, uma amostra composta para cada tratamento

(pontos A, B e C). Esse processo foi repetido 10 vezes em função do número de árvores pré-selecionadas para amostragem.

Para não alterar a umidade do material e evitar sua possível fermentação, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas dentro de uma caixa de isopor e imediatamente enviadas ao laboratório. Antes de o material ter sido colocado em estufa para secagem, foi pesado em balança de precisão de 0,1 g, para determinação do peso de matéria verde. A secagem foi feita em estufa de circulação forçada de ar, durante 48 horas e a uma temperatura em torno de 60°C.

Todo processo de amostragem, bem como o cálculo efetuado para determinação do teor de matéria seca, foi baseado na metodologia descrita por SILVA (1990). A determinação do rendimento da fitomassa seca do capim foi feita por meio da multiplicação dos teores de matéria seca, obtidas na amostragem, pelos respectivos pesos verdes totais em cada tratamento.

3.5.11 Análises químico-bromatológicas da pastagem de capim-búfel

As análises para determinar o valor nutritivo do capim-búfel foram realizadas nos dois períodos climáticos (seco e chuvoso). Os teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg nas folhas da gramínea, foram determinados no laboratório de análises de solos e plantas da Embrapa Florestas, seguindo metodologia proposta por SARRUGE & HAAG (1974). No laboratório de nutrição animal da Embrapa Semi-Árido, em Petrolina, PE., foram determinados os seguintes parâmetros de nutrição animal: Proteína bruta (PB), Fibra Detergente Neutro (FDN) e a Digestibilidade *in vitro* da Matéria Seca (DIVMS). Todo processo de amostragem, bem como, a preparação das amostras para análises químico-bromatológicas foram baseados na metodologia descrita por SILVA (1990).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DA ALGAROBA E RADIAÇÃO SOB A COPA DAS ÁRVORES

Não foram observadas diferenças marcantes nos parâmetros de crescimento medidos nos períodos seco e chuvoso (Quadro 2). Isto, provavelmente, em função do curto intervalo de tempo entre as duas avaliações (oito meses). Entretanto, com relação à intensidade de luz, pode-se notar uma discreta tendência de redução da quantidade de radiação sob a copa das árvores, no período chuvoso.

QUADRO 2. Parâmetros médios de crescimento para a algaroba (*Prosopis juliflora*) e percentuais de radiação obtidos sob a copa das árvores, nas épocas seca e chuvosa.

| VARIÁVEIS MENSURADAS | PERÍODOS | |
|--------------------------------|-----------|--------------|
| | SECO 1997 | CHUVOSO 1998 |
| Altura total da árvore (m) | 7,14 | 7,36 |
| Altura do fuste (m) | 1,80 | 1,80 |
| Altura da copa (m) | 5,34 | 5,56 |
| Diâmetro da copa (m) | 10,06 | 10,36 |
| Diâmetro da base do fuste (cm) | 24,83 | 25,66 |
| Radiação sob a copa (%) * | 50,4 | 43,8 |

* em relação à radiação externa à copa da árvore

De acordo com LIMA (1994), a queda de folhas nas árvores de *P. juliflora* se processa durante todo ano, sendo que a maior intensidade de abscisão ocorre no período seco, e a emissão de folhas novas se concentra no período de dezembro a maio (período chuvoso). Assim, os menores percentuais de radiação verificados sob a copa da algaroba, na época chuvosa, provavelmente estejam relacionados com a maior quantidade de fitomassa produzida pela árvores.

Variação estacional foi igualmente observada por CESTARO (1988) ao constatar que a intensidade luminosa dentro de uma floresta de *Araucaria angustifolia* (em média 94% inferior àquela observada sobre um gramado sem árvores), oscilava entre um mínimo no outono e um máximo na primavera e no verão. O aumento da intensidade luminosa (radiação) no interior da floresta, a partir de junho-julho (início do inverno) esteve associada ao caráter semidecíduo apresentado pelo dossel nessa época.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA ALGAROBA

Os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) obtidos nas folhas das plantas de algaroba, com 15 anos de idade, cultivadas junto com capim-búfel (*Cenchrus ciliaris*), não apresentaram variações significativas entre os períodos amostrados, conforme pode ser constatado na Tabela 1.

Tabela 1. Concentrações médias de macronutrientes nas folhas de *P. juliflora* associada ao capim-búfel (*C. ciliaris*) em um sistema silvipastoril, em duas épocas distintas.

| PERÍODOS | NUTRIENTES | | | | |
|--------------------|--------------------|------|------|------|-----|
| | N | P | K | Ca | Mg |
| | g.kg ⁻¹ | | | | |
| 1997 época seca | 28,5 | 1,10 | 10,4 | 21,6 | 4,3 |
| 1998 época chuvosa | 29,0 | 1,03 | 9,5 | 20,4 | 4,8 |
| Teste F | ns | ns | ns | ns | ns |

ns - não houve diferença estatística significativa entre as médias ($P < 0,05$)

Em termos quantitativos, os teores dos macronutrientes estudados, obedeceram a seguinte ordem decrescente: $N > Ca > K > Mg > P$, concordando com outros resultados encontrados por DRUMOND (1988) e LIMA (1994),

para essa mesma espécie, quando cultivada em povoamentos puros, em outras duas idades diferentes (Tabela 2).

No sistema silvipastoril estudado (Tabela 1), de modo geral, as concentrações de nutrientes encontradas nas plantas de algaroba, a exceção do cálcio, são comparativamente menores que às outras obtidas nas folhas de plantas mais jovens, desenvolvidas em condições de monocultivo (Tabela 2).

Tabela 2. Concentrações médias de macronutrientes nas folhas de *P. juliflora* em plantios puros, em duas idades diferentes.

| POVOAMENTOS PUROS | NUTRIENTES | | | | |
|-----------------------|--------------------|------|------|------|-----|
| | N | P | K | Ca | Mg |
| | g.kg ⁻¹ | | | | |
| Algaroba c/ 2 anos * | 31,0 | 1,35 | 10,5 | 18,6 | 7,4 |
| Algaroba c/ 8 anos ** | 32,4 | 1,04 | 11,6 | 17,2 | 7,5 |

Fontes: * Drumond 1988 e ** Lima 1994

De acordo com MARSCHNER (1995), a idade das plantas e o estágio fisiológico das folhas são fatores que afetam os teores dos nutrientes. Nas plantas e órgãos com maior idade, com exceção do Ca, frequentemente ocorre diminuição das concentrações dos elementos, devido ao aumento relativo verificado na produção de material estrutural (parede celular e lignina) e de compostos de reserva na matéria seca.

Essa tendência de comportamento foi observada por diversos autores, entre eles, REISSMANN (1976), trabalhando com *Araucaria angustifolia*, BELLOTE (1979), constatando decréscimo na concentração de nitrogênio e fósforo em *Eucalyptus grandis*, e BARROS (1984) que, também, verificou diminuição dos teores de N, P e K na fitomassa de *Pinus taeda*, com o aumento da idade das plantas.

Por outro lado, na análise dos resultados obtidos para o sistema silvipastoril em particular (Tabela 1), deve-se também levar em consideração

o aspecto relativo à competição entre as duas culturas, o que provavelmente afeta, entre outros fatores, a concentração de nutrientes nas folhas das plantas consorciadas.

De acordo com AYERZA (1981), o capim-búfel (*Cenchrus ciliaris*), normalmente, não é cultivado em consórcio, pois o manejo de pastagens com essa gramínea associada à leguminosas herbáceas e/ou arbustivas é muito difícil e requer boa habilidade do manejador, visto que trata-se de uma espécie muito agressiva. Assim, esse mesmo autor, sugere para regiões áridas e semi-áridas a utilização dessa gramínea em sistemas silvipastoris, indicando como leguminosas arbóreas mais promissoras as espécies pertencentes aos gêneros *Acacia*, *Cassia* e *Prosopis*.

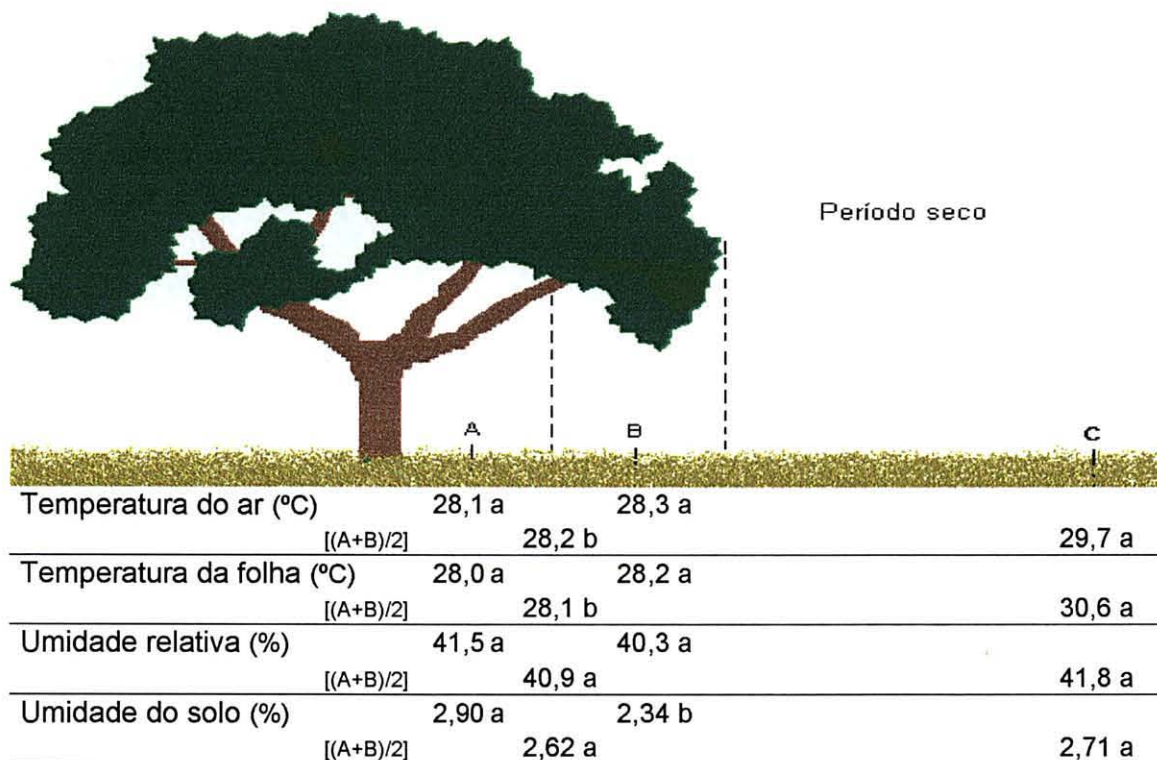
4.3 CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS SOB A COPA DAS ÁRVORES

As informações referentes às condições microclimáticas, representadas pela temperatura do ar, temperatura da folha da gramínea, umidade relativa do ar e umidade do solo, obtidas sob a copa das árvores e fora de sua projeção, nos períodos seco e chuvoso, se encontram nas Figuras 4a e 4b, respectivamente.

4.3.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar, medida sob a copa das árvores, não variou do ponto A (posição próxima ao fuste) para o ponto B (posição mais próxima ao limite da projeção da copa), independentemente do período amostrado, apesar de existir uma variação de aproximadamente 4,5°C de temperatura entre a época seca e a chuvosa (Figuras 4a e 4b). Porém, foram encontradas diferenças significativas, quando comparou-se as temperaturas médias sob o dossel do componente arbóreo $[(A+B)/2]$ com as temperaturas obtidas nas áreas fora da influência das árvores (ponto C). A temperatura do ar foi

sempre menor na condição protegida pelas árvores, ficando essa diferença em torno de 1,5°C, tanto no período seco quanto no chuvoso.



Letras iguais na mesma linha, para cada parâmetro analisado, indicam não haver diferença significativa, pelo Teste F, a 5% de probabilidade.

FIGURA 4a. Variáveis microclimáticas mensuradas sobre a gramínea cultivada sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época seca (1997).

A queda da temperatura do ar devido ao sombreamento, constatada neste estudo, está de acordo com as citações de WILSON & WONG (1982), CESTARO (1988), PORFÍRIO DA SILVA (1994) e CASTRO (1996). A presença do componente arbóreo nos sistemas silvipastoris contribui para regular a temperatura do ar, nivelando suas oscilações extremas, conseqüentemente, tornando o ambiente mais estável (GOOR, 1964 e CESTARO, 1988), o que pode proporcionar benefícios às plantas e aos animais submetidos ao consórcio (BUDOWSKI et al., 1984).

CESTARO (1988), estudando o microclima do interior de uma floresta de araucária (*Araucaria angustifolia*), constatou que a temperatura do ar foi cerca de 0,8°C inferior àquelas observadas simultaneamente sobre um terreno gramado próximo à floresta. Sendo que a maior atenuação da temperatura, pela cobertura arbórea, ocorreu nos períodos mais quentes do dia.

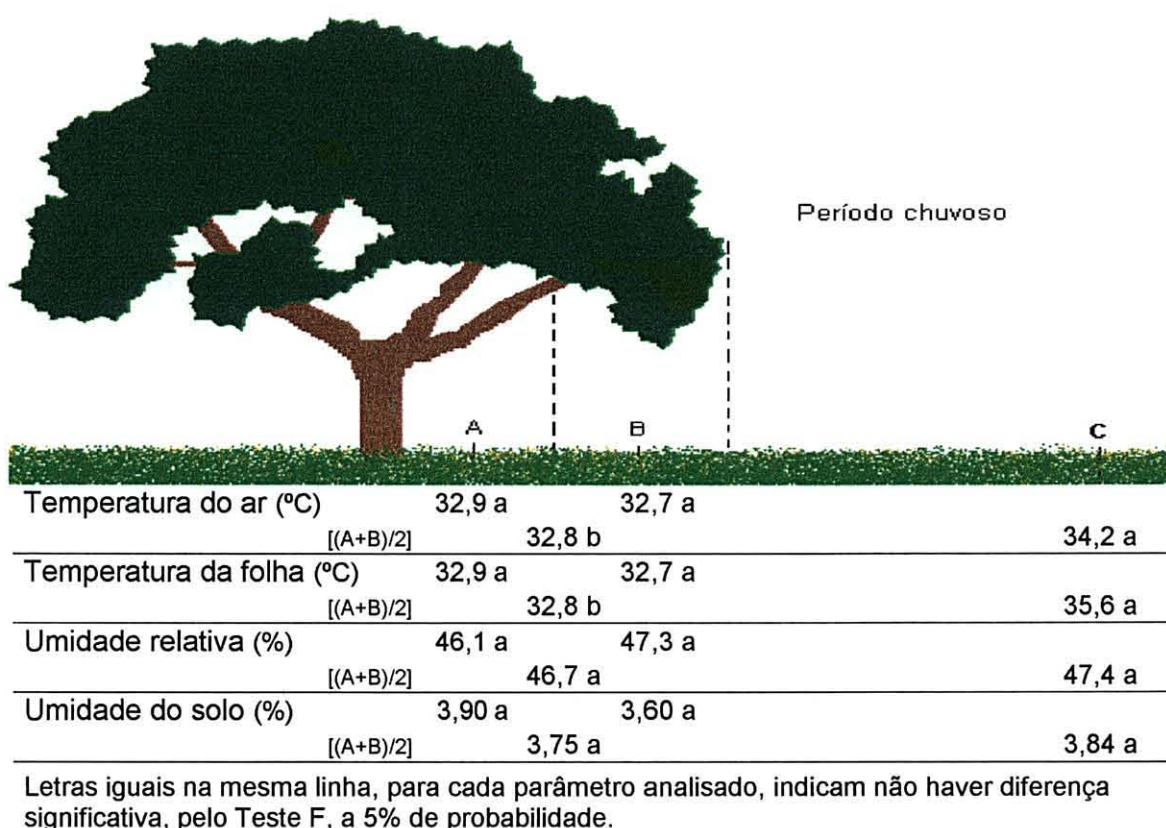


FIGURA 4b. Variáveis microclimáticas mensuradas sobre a gramínea cultivada sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época chuvosa (1998).

A sombra das árvores também protege os animais do calor excessivo, causado pela radiação solar direta. Essa proteção lhes permite manter sua temperatura corporal em um nível confortável. As mudanças no balanço térmico, que acontecem com uma menor temperatura do ar, comparada com

a temperatura corporal do animal, possibilitam um maior consumo de alimento (BOTERO & RUSSO, 1998 e SÁNCHEZ, 1998).

4.3.2 Temperatura da folha do capim-búfel

A temperatura das folhas do capim-búfel, medida sob a copa das árvores, não variou do ponto A para o ponto B e apresentou valores semelhantes ao da temperatura do ar, tanto no período seco quanto no chuvoso (Figuras 4a e 4b).

Entretanto, as temperaturas das folhas do capim cultivado a céu aberto foram significativamente mais altas do que as verificadas nas folhas protegidas pela sombra das árvores. As diferenças foram de 2,55°C no período seco e de 2,77°C no período chuvoso, época do ano que normalmente as temperaturas são mais elevadas.

Pode-se observar, ainda, nas Figuras 4a e 4b, que a temperatura das folhas da gramínea a pleno sol foram mais altas (em torno de 1°C) do que as temperaturas do ar, isto provavelmente porque a folha se comporta como um corpo negro, absorvendo fortemente a radiação calórica de comprimento de onda longo (OLIVA, s.d. e LARCHER, 1986).

4.3.3 Umidade relativa do ar

Não foi constatada diferença significativa entre a umidade relativa do ar sob a copa das árvores e na condição a céu aberto, fora da influência do componente arbóreo, nos dois períodos avaliados (Figura 4a e 4b).

Existem na literatura resultados conflitantes sobre a influência do sombreamento na modificação da umidade relativa do ar. Segundo PAYNE (1985) a espécie, o espaçamento e a idade das árvores afetam o microclima sob o dossel e conseqüentemente o grau de tensão de calor e seu reflexo sobre a umidade relativa do ar.

TINOCO & VASQUEZ-YANES (1985) consideram que a intensidade luminosa é o fator que apresenta maior magnitude de variação com a

ocorrência de aberturas no dossel das florestas e existem evidências de que em clareiras maiores de que 400 m², as condições microclimáticas aproximam-se bastante das áreas abertas (DENSLOW, 1980).

CASTRO (1996), trabalhando com sombreamento artificial (tela de sombrite), concluiu que o sombreamento moderado (30%) elevou a umidade relativa do ar, acima do relvado, de seis gramíneas forrageiras tropicais (*Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *Melinis minutiflora*, *Panicum maximum* e *Setaria sphacelata*). Entretanto, foi observado o decréscimo de tal atributo com a intensificação do sombreamento (60%), com a umidade relativa atingido valores bastante próximos daqueles observados na condição a céu aberto.

Segundo CESTARO (1988), a umidade relativa do ar foi, de maneira geral, mais elevada no interior de uma floresta de *Araucaria angustifolia*, principalmente, por causa das diferenças térmicas em relação a um gramado sem árvores do que da maior quantidade de vapor de água. Os déficit de saturação foram menores no interior da floresta, sobretudo nas horas mais quentes do dia.

A elevação da umidade relativa do ar, de acordo com alguns estudos, pode ser considerada como um aspecto positivo, pois parece haver um certo estímulo ao crescimento das plantas (TIBBITTS & BOTTENBERG, 1976 e GISLEROD & NELSON, 1989). Entretanto, BEER et al. (1997), chamam a atenção para fato de que o aumento da umidade relativa pode predispor o meio às doenças causadas por fungos. Na realidade, são poucas as pesquisas relacionadas à este tema, principalmente em se tratando de sistemas silvipastoris.

Na cultura do café (*Coffea arabica*) sombreada por árvores, FLORES (1979) e KASS (1992) relatam, por exemplo, a existência de efeitos tanto positivos quanto negativos do componente arbóreo sobre a incidência de pragas e doenças.

4.3.4 Umidade do solo

O sombreamento exerceu efeitos significativos sobre o teor de umidade do solo, particularmente, no período seco (Figura 4a), onde observou-se maior percentual de umidade nos locais mais próximos ao fuste das árvores, quando comparados aos outros locais sob a copa, representados pelo ponto B. Entretanto, não foram encontradas diferenças significativas entre os percentuais médios de umidade sob as árvores $[(A+B)/2]$ e aqueles obtidos no solo na condição a céu aberto (ponto C).

Pode-se observar, ainda, no período chuvoso (Figura 4b), que os percentuais de umidade obtidos nos locais mais próximos aos limites da projeção da copa (ponto B), tiveram a mesma tendência da época seca, ou seja, apresentaram menores valores que os demais tratamentos. Isto pode indicar a existência de um provável aumento no grau de competição entre as essas duas espécies consorciadas, nessa condição em particular, pois, de acordo com VALDÍVIA (1982) e SILVA & LIMA (1985), a algaroba apresenta um sistema radicial predominantemente superficial e concentra grande parte das raízes finas na mesma faixa de solo explorada pela gramínea (RIBASKI, 1987).

Segundo BEER et al. (1997), a redução da temperatura do ar, da folha e do solo pode ter influência positiva sobre o microclima debaixo da copa das árvores, principalmente no aspecto de aumento da umidade. Maiores teores de umidade nos solos sob a copa de árvores de algaroba (*Prosopis juliflora*), também foram encontrados por GURBACHAN et al. (1991), BHOJVAID & TIMMER (1998) e GARG (1998). De acordo com relatos de SRIVASTAVA et al. (1989) e TODD et al. (1991), o sombreamento ao reduzir a quantidade de radiação que chega ao solo, diminui significativamente a sua taxa de evaporação de água, contribuindo para a manutenção da umidade.

Em um sistema silvipastoril, no Bosque Seco Tropical da Colômbia, envolvendo a associação de pasto estrela (*Cynodon plectostachyus*) com algaroba (*Prosopis juliflora*) e leucena (*Leucaena leucocephala*), foi possível reduzir a irrigação da gramínea consorciada em 20%, na época seca, em

comparação com a pastagem cultivada em plena exposição do sol (MAHECHA et al., 1998).

De acordo com BREMAN & KESSLER (1995) e Wallance (1996), citado por BURESH & TIAN (1997), pode ser mantida uma disponibilidade mais alta de água no solo debaixo da copa das árvores por causa da interceptação e redistribuição da água dentro do sistema, reduzindo a evapotranspiração e aumentando a infiltração.

O maior teor de umidade no solo também pode favorecer a atividade microbiana, resultando na aceleração da decomposição de matéria orgânica e possibilitando o aumento da mineralização do nitrogênio (WILD et al., 1993). Segundo HANG et al. (1995), a utilização de espécies arbóreas do gênero *Prosopis*, em sistemas silvipastoris, pode ajudar a minimizar o problema de escassez de água e N, que constituem duas limitações importantes para o crescimento dos pastos nas zonas semi-áridas.

4.4 AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO NO SISTEMA SILVIPASTORIL

As concentrações de matéria orgânica (M.O.) e os valores de pH do solo (Figuras 5a e 5b), e, também, os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), encontrados no solo cultivado com capim-búfel sob a copa da algaroba e na condição de monocultivo, mostrados nas Figuras 6a e 6b, correspondem às amostras colhidas nos períodos seco e chuvoso, respectivamente.

4.4.1 Matéria orgânica e pH

Pode-se perceber nas Figuras 5a e 5b tendências de aumento nos teores de matéria orgânica (M.O.) na camada de 0 a 20 cm de solo, com a presença do componente arbóreo na pastagem, principalmente, nos locais mais próximos ao fuste (ponto A). Porém, somente foi registrada diferença significativa nos percentuais de matéria orgânica, no período chuvoso (Figura

5b), quando os teores de M.O. encontrados no ponto A foram em média 43% mais altos do que na condição mais próxima ao limite de projeção da copa das árvores (ponto B). Vale ressaltar que, no período seco, esse percentual ficou em torno de 34% e mostrou significância estatística pelo teste F a $P < 0,06$. Já, os valores médios obtidos no solo sob o dossel da algaroba $[(A+B)/2]$, somente diferiram daqueles encontrados no solo da pastagem cultivada a céu aberto (ponto C) na época seca.

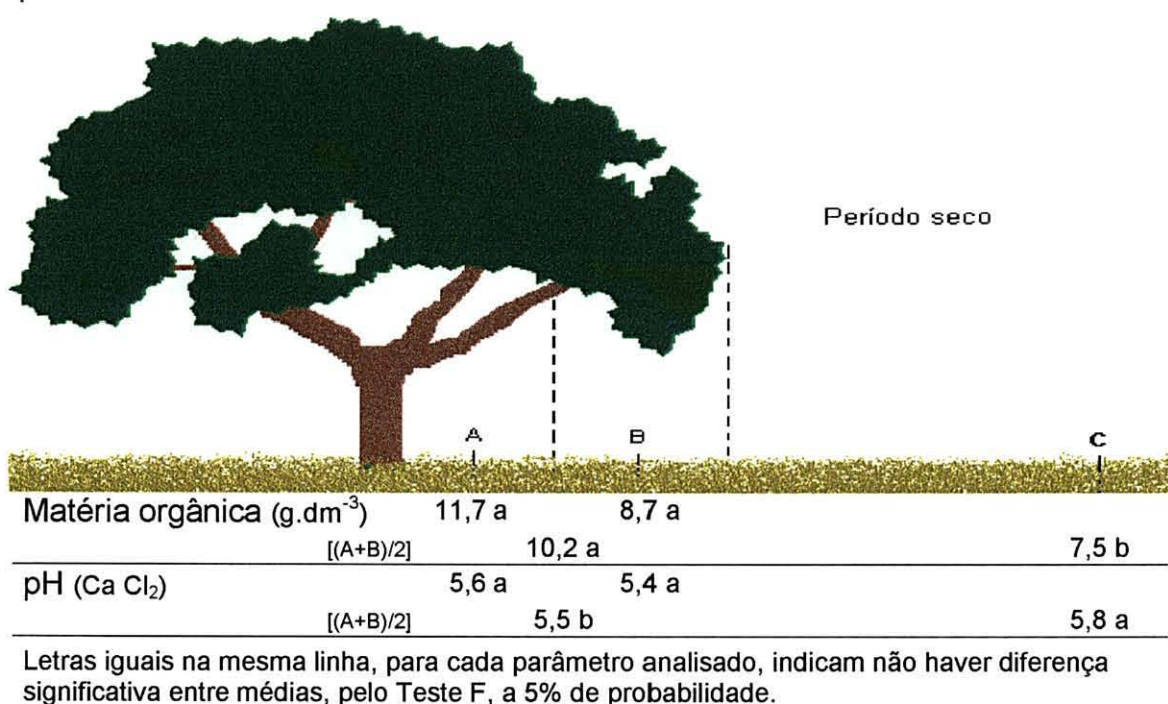
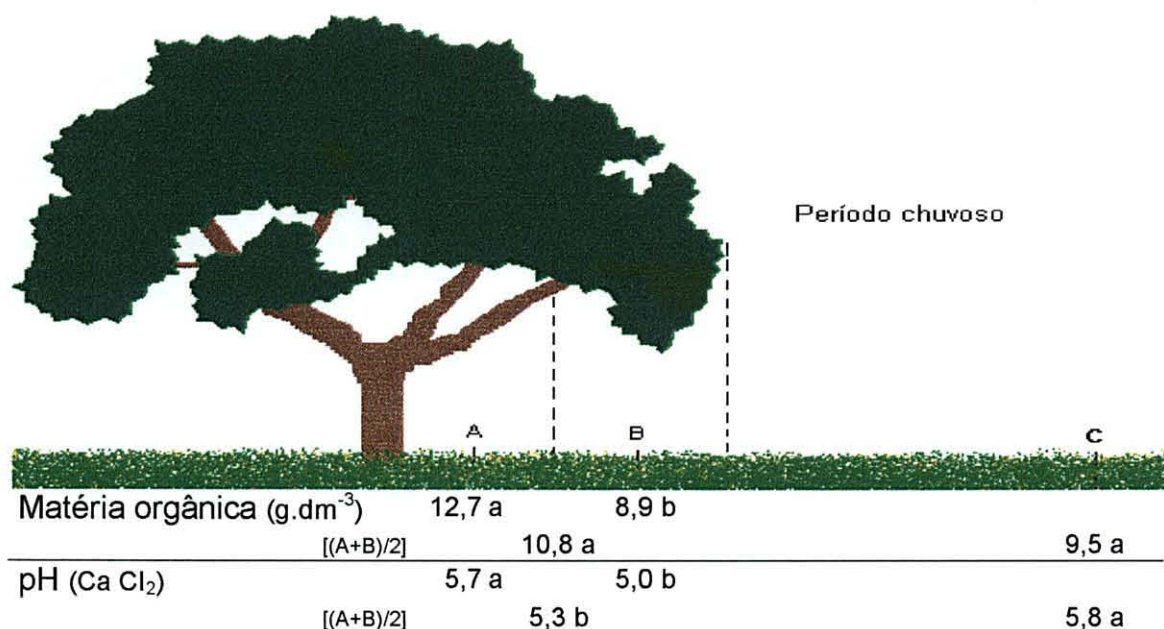


FIGURA 5a. Matéria orgânica e pH no solo, sob a copa das árvores (pontos A e B) e no solo da pastagem cultivada solteira (ponto C), amostrados na época seca (1997).

De acordo com a classificação de FASSBENDER & BORNEMISZA (1994) os valores percentuais de M.O. encontrados nesse estudo (mínimo de 0,75%, na época seca e máximo de 1,27%, no período chuvoso) são considerados muito baixos, pois foram inferiores aos limites mínimos

estabelecidos por aqueles autores para essa condição, ou seja, 2% para M.O. ou 1,2% para C orgânico.



Letras diferentes na mesma linha, para cada parâmetro analisado, indicam haver diferença significativa entre médias, pelo Teste F, a 5% de probabilidade.

FIGURA 5b. Matéria orgânica e pH no solo, sob a copa das árvores (pontos A e B) e no solo da pastagem cultivada solteira (ponto C), amostrados na época chuvosa (1998).

Vários estudos mostram que a quantidade de matéria orgânica é mais alta na camada superficial dos solos debaixo de árvores do que em áreas abertas, sem a presença delas (GURBACHAN et al., 1992; MORDELET et al., 1993; BREMAN & KESSLER, 1995; ROY, 1996; EL-FADL, 1997; BURESH & TIAN, 1997; KANG, 1997; RAO et al., 1997; YOUK, 1997 e BHOJVAID & TIMMER, 1998). Por exemplo, MORDELET et al. (1993) reportam teores mais altos de C debaixo de um grupo de árvores do que numa pastagem na savana úmida da Costa do Marfim, na África. Enquanto que, BHOJVAID & TIMMER (1998), estudando a dinâmica do solo por um longo prazo, concluíram que o estabelecimento e o desenvolvimento de *Prosopis juliflora*,

numa região com 700 mm de precipitação média anual, no noroeste da Índia, resultaram no enriquecimento dos solos sódicos degradados, considerando o C orgânico e N total.

RHOADES (1995), fazendo referência à espécie *Faidherbia albida*, mostrou a existência de um gradiente de fertilidade que diminuía da base da árvore para a sua extremidade (limite de projeção da copa) e além dela. Tendência similar pode ser observada, no presente estudo, com relação aos teores de matéria orgânica (Figura 5a) e, também, de alguns nutrientes (Figuras 6a e 6b). O mesmo autor sugere, ainda, que as maiores concentrações de nutrientes encontradas no solo mais próximo ao fuste, resultaram de um aumento na taxa de mineralização da matéria orgânica.

Com relação ao pH, pode-se perceber, nas Figuras 5a e 5b, que houve influência do componente arbóreo sobre a acidez do solo. Os valores médios de pH obtidos sob a copa das árvores $[(A+B)/2]$ foram significativamente inferiores aos obtidos no solo cultivado com a gramínea solteira, independentemente da época amostrada. Segundo RAO et al. (1997), alterações desse tipo dependem da espécie, da idade das árvores e das condições do local. Por exemplo, solos sob a copa de árvores leguminosas como *Prosopis cineraria* e *Acacia tortilis* tenderam a ser mais ácidos do que os solos debaixo de árvores não leguminosas como o karité - *Vitellaria paradoxa* e o baobá - *Adansonia digitata* (KATER et al., 1992 e BELSKI et al., 1993).

De acordo com EPSTEIN (1975), as raízes das plantas são capazes de exudar hidrogênio ou hidroxilas para acidificar ou alcalinizar o meio, com a finalidade de maximizar a absorção de nutrientes. Assim, a liberação de exudados, aliada a modificações nos teores de umidade do solo, pode interferir no processo de mineralização da M.O. e, conseqüentemente, afetar a concentração de nutrientes na solução do solo (BOWEN, 1984).

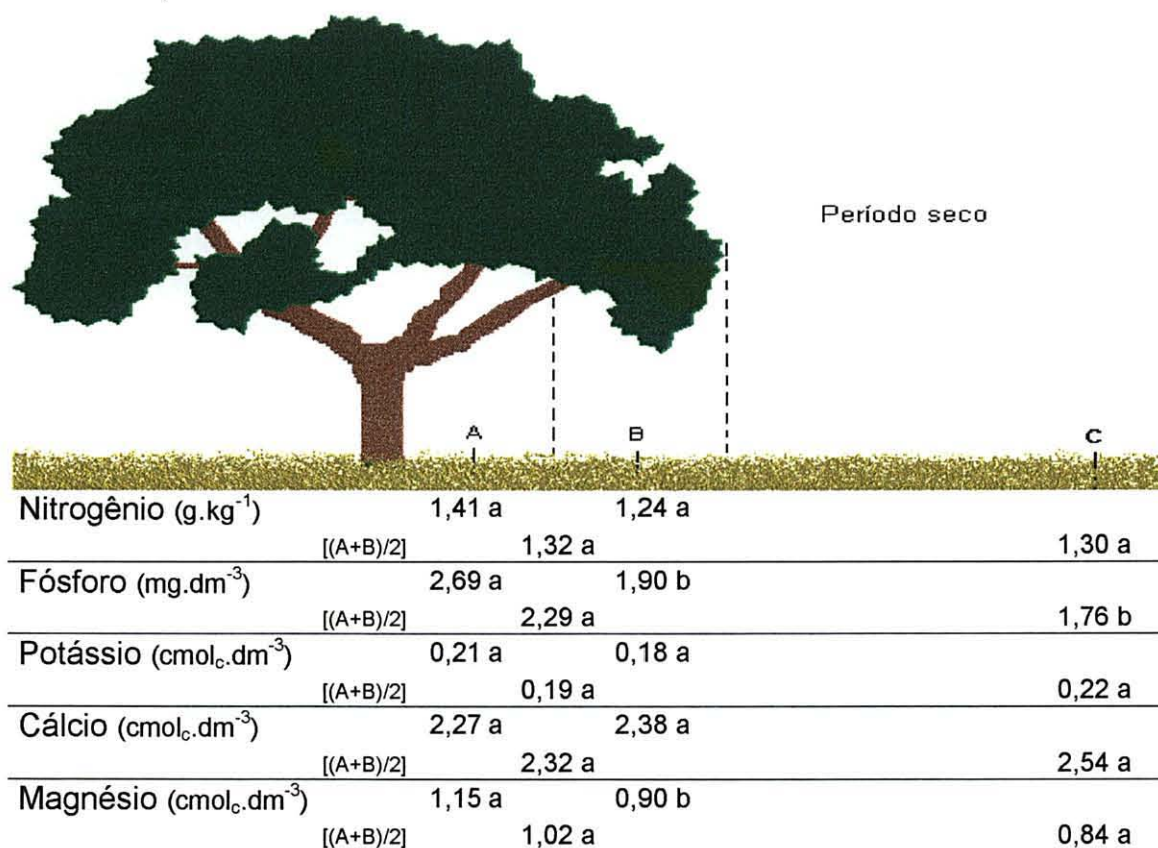
A espécie *Prosopis juliflora*, em particular, é considerada uma espécie potencial para restabelecer a fertilidade e produtividade de solos sódicos degradados. Além dos objetivos de retorno econômico com a produção de madeira, lenha e forragem, ela tem sido plantada, principalmente na Índia,

para recuperação de solos alcalinos improdutivos. Resultados de pesquisas desenvolvidas por (AHAMED, 1991; GARG & JAIN, 1992 e BHOJVAID & TIMMER, 1998) evidenciam a habilidade dessa leguminosa em reduzir o pH, diminuir a condutividade elétrica, aumentar os teores de carbono orgânico e a disponibilidade de nutrientes no solo. Em função desse potencial, o sistema silvipastoril envolvendo a espécie arbórea *P. juliflora* e a gramínea *Leptochloa fusca*, é apontado por SINGH et al. (1994) como um excelente modelo para produção de madeira, forragem e melhoramento das condições químicas dos solos daqueles locais.

4.4.2 Nitrogênio no solo

Não foram constatadas diferenças entre os teores médios de N encontrados no solo sob as árvores $[(A+B)/2]$ e aqueles presentes nos locais cultivados com a gramínea a pleno sol (ponto C), independentemente da época amostrada (Figuras 6a e 6b). Porém, houve um aumento considerável na concentração desse nutriente no solo nos locais mais próximos ao fuste das árvores (ponto A), em relação ao ponto B, principalmente no período chuvoso, quando essa diferença foi mais expressiva (52%) e estatisticamente significativa.

Alguns estudos mostram o fator sombra como promotor do crescimento de gramíneas (WONG & WILSON, 1980; ERIKSEN & WHITNEY, 1981 e WILSON et al., 1986). Nesses trabalhos, os autores atribuem o melhor desempenho das gramíneas ao aumento na disponibilidade de nitrogênio no solo, sob a condição sombreada. WILSON (1990) reforça o argumento de que a sombra exerce influência nesse processo, uma vez que, nessas pesquisas, trabalhou-se com sombreamento artificial, ou seja, não estiveram envolvidos estudos relativos à ciclagem de nutrientes (lavagem das folhas pela água da chuva e queda de folhas e galhos) nem à fixação de nitrogênio.

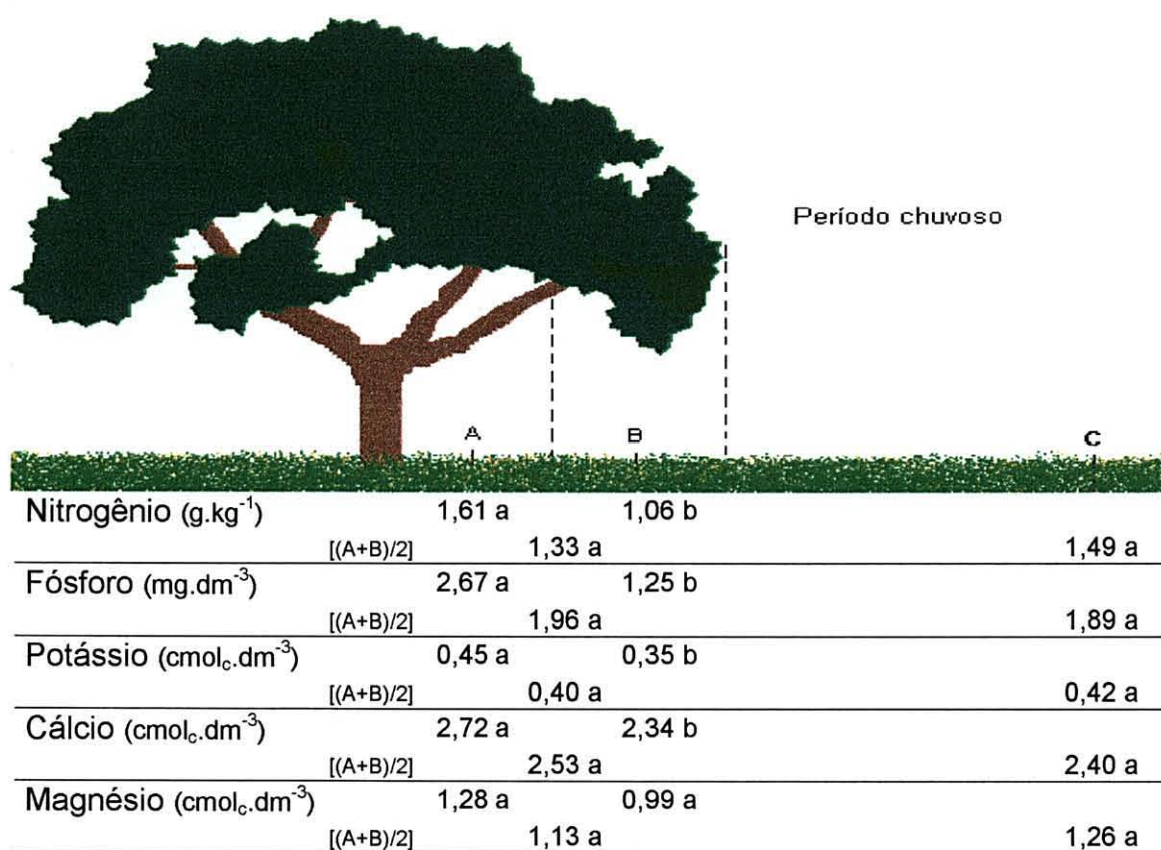


Letras iguais na mesma linha, para cada parâmetro analisado, indicam não haver diferença significativa entre médias, pelo Teste F, a 5% de probabilidade.

FIGURA 6a. Macronutrientes no solo, sob a copa das árvores (pontos A e B) e no solo da pastagem cultivada solteira (ponto C), amostrados na época seca (1997).

Os resultados obtidos por WILSON (1990), mostraram uma forte evidência de que a taxa de mineralização pode ser estimulada pelo sombreamento. O autor estudando a influência de um sombreamento artificial, com 50% de transmissão de luz, sobre o rendimento de uma pastagem de *Panicum maximum* var. trichoglume, constatou que não só a produção de matéria seca da pastagem e o teor de nitrogênio, nas folhas, eram maiores na gramínea cultivada à sombra, mas também a concentração de nitrogênio na forma de nitrato (N-NO_3) era notadamente mais alta no solo sombreado.

Diversos autores mostram que o efeito das árvores sobre os solos, em diferentes sistemas silvipastoris, se traduz em incremento de fertilidade, principalmente, com relação ao nitrogênio (GURBACHAN et al., 1991; NYBERG & HÖGBERG, 1995; SANCHEZ & PALM, 1996; BURESH & TIAN, 1997; RAMÍREZ, 1997; BHOJVAID & TIMMER, 1998; BOTERO & RUSSO, 1998 e GIRALDO, 1998).



Letras diferentes na mesma linha, para cada parâmetro analisado, indicam haver diferença significativa entre médias, pelo Teste F, a 5% de probabilidade.

FIGURA 6b. Macronutrientes no solo, sob a copa das árvores (pontos A e B) e no solo da pastagem cultivada solteira (ponto C), amostrados na época chuvosa (1998).

O aumento dos teores de nutrientes no solo, principalmente o N, nos locais mais próximos do fuste das árvores, pode ser também resultante da decomposição dos nódulos formados pela simbiose da algaroba com bactérias fixadoras de N_2 . BOTERO & RUSSO (1998) mencionam que a utilização de

árvores fixadoras de nitrogênio (AFN) em sistemas agroflorestais incrementam o nível de nitrogênio no solo devido a sua capacidade de fixá-lo da atmosfera, através da simbiose com bactérias em suas raízes, e por meio do aporte de matéria orgânica feito no solo através da queda periódica ou estacional, natural ou provocada (colheita), de folhas, flores, frutos, ramos e raízes mortas. Além disso, suas raízes podem absorver nutrientes de camadas mais profundas do solo e trazê-los para a superfície, tornando-os disponíveis para a pastagem ou para o cultivo agrícola associado.

No entanto, pode-se perceber, ainda, nas Figuras 6a e 6b, que os teores de N no solo na condição mais próxima ao limite da projeção da copa da algaroba (ponto B) foram sempre menores do que na outras duas situações e essa diferença foi mais expressiva na época chuvosa. Fato esse que pode ser explicado pelo provável aumento no grau de competição entre as duas espécies, nesse ponto, uma vez que o sistema radicial da algaroba é predominantemente superficial (SILVA & LIMA, 1985) e a maior concentração de raízes finas, que são as principais responsáveis pela absorção de nutrientes (VALDÍVIA, 1982 e BOWEN, 1984), posiciona-se na mesma faixa de solo explorada pela gramínea (RIBASKI, 1987).

4.4.3 Fósforo no solo

A presença das árvores de algaroba na pastagem demonstrou exercer influência sobre os teores de fósforo no solo, tanto no período seco quanto no chuvoso (Figuras 6a e 6b). Os valores das concentrações de P encontrados no solo, nos locais mais próximos ao fuste (ponto A), foram sempre maiores e significativamente diferentes daqueles obtidos nos locais representados pelo ponto B. Entretanto, a média desses teores, obtidos sob a copa das árvores $[(A+B)/2]$, somente diferiu dos valores encontrados no solo cultivado com a pastagem no ponto C, fora da influência das árvores, na época seca (Figura 6a).

A maioria dos estudos abordados na literatura se refere a um pequeno ou nenhum benefício das árvores sobre a disponibilidade de fósforo nos solos (SIAW et al., 1991; BURESH & TIAN, 1997 e ESQUIVEL et al., 1998). Por

exemplo, SIAW et al. (1991) não encontraram nenhuma diferença significativa na disponibilidade de P nos solos de um sistema agroflorestal comparando o solo sob a copa de *Leucaena leucocephala* e *Aciola barteri* com a testemunha sem árvores. Enquanto que, KANG et al. (1997), em uma outra pesquisa destinada a recuperação de solos degradados com a utilização de espécies arbóreas, na Nigéria, encontraram um pequeno efeito benéfico de árvores, com quatro anos de idade das espécies (*Senna siamea*, *L. leucocephala*, *Acacia leptocarpa* e *A. auriculiformis*) no P disponível no solo à 0-15 cm de profundidade durante a fase de pousio.

Muitos sistemas agroflorestais acumulam fósforo na fitomassa arbórea e este retorna ao corpo do solo juntamente com outros nutrientes, quando a serapilheira se decompõe. O que se constitui, segundo SANCHEZ & PALM (1996), um processo meramente de ciclagem de nutrientes, onde não existe um “input” de P no sistema. Porém, algumas formas inorgânicas de fósforo, pouco disponíveis no solo, podem ser convertidas em formas orgânicas mais disponíveis na ciclagem e, de acordo com MARSCHNER (1995), algumas espécies, por serem mais eficientes na solubilização de fósforo, podem proporcionar benefícios para outras menos eficientes, quando estas estão associadas.

Nas Figuras 6a e 6b, pode-se perceber, ainda, que os resultados das análises das amostras colhidas nos locais mais próximos ao limite da projeção da copa das árvores (ponto B) forneceram os menores valores para o fósforo disponível no solo. A literatura também faz referência a diminuição na disponibilidade de P sob a copa das árvores, em sistemas agroflorestais, e HAGGAR et al. (1991) apontaram como uma causa presumível para essa situação a maior absorção de P pelas árvores.

RIBASKI (1987), avaliando o sistema radicial de *Prosopis juliflora*, com 2,5 anos de idade, constatou que o limite da expansão lateral das raízes, (caracterizado principalmente pelas raízes mais finas) coincidia com o limite da projeção da copa da algaroba. Esta característica pode ter contribuído, no presente estudo, para que a absorção desse elemento tenha sido intensificada,

particularmente, nos locais representados pelo ponto B, diminuindo conseqüentemente a sua disponibilidade no solo.

Reforçando essa hipótese, pode-se perceber, nas Figura 6a e 6b, um decréscimo mais acentuado da concentração desse nutriente no solo, independentemente do período amostrado. A diferença nos teores de fósforo entre os pontos A e B, no período seco, foi da ordem de 41,58%, enquanto na época chuvosa essa diferença foi superior a 113%.

4.4.4 Potássio, Cálcio e Magnésio no solo

Os teores médios dos cátions K, Ca e Mg obtidos no solo sob a copa das árvores $[(A+B)/2]$, não diferiram dos teores encontrados no solo da pastagem cultivada fora da influência do componente arbóreo (ponto C), tanto na época seca quanto na chuvosa (Figuras 6a e 6b). Entretanto, com relação às amostras colhidas sob o dossel da algaroba, nos pontos A e B, foram constatadas diferenças significativas para Mg, na época seca, e para Ca e K, no período chuvoso. Houve um incremento significativo nos teores de magnésio (Figura 6a) e de cálcio (Figura 6b), no solo dos locais mais próximos ao fuste, correspondendo à aproximadamente 28% e 19% de aumento em relação ao ponto B, respectivamente. Já para o potássio, ocorreu um decréscimo dos teores desse elemento na ordem de 28% na condição mais próxima ao limite de projeção da copa, em relação ao ponto A (Figura 6b).

RAMÍREZ (1997) também constatou que a presença das leguminosas arbóreas *L. leucocephala* e *P. juliflora* aumentou, dentre outros nutrientes, os conteúdos de cálcio e magnésio na solução do solo, permitindo que a gramínea associada (*Cynodon plectostachyus*) tivesse maior disponibilidade dos mesmos para seu desenvolvimento o que contribuiu para o aumento da produção total de forragem verde e matéria seca comestível, quando comparada à pastagem em monocultivo. Nesse mesmo trabalho, o autor não observou nenhuma influência significativa das leguminosas sobre os teores de potássio no solo.

Em regiões semi-áridas da Índia, ROY (1996) afirma que os sistemas silvipastoris baseados em *Hardwickia binata* são mais produtivos e mais eficientes, do ponto de vista de ciclagem dos principais nutrientes, do que na pastagem cultivada sem a presença dessa espécie. De acordo com o autor, esses sistemas aumentaram a quantidade de potássio em 16,9-36,1% e cálcio 0,9-6,5% em função da densidade de plantio utilizada, 100 e 600 árvores por hectare, respectivamente.

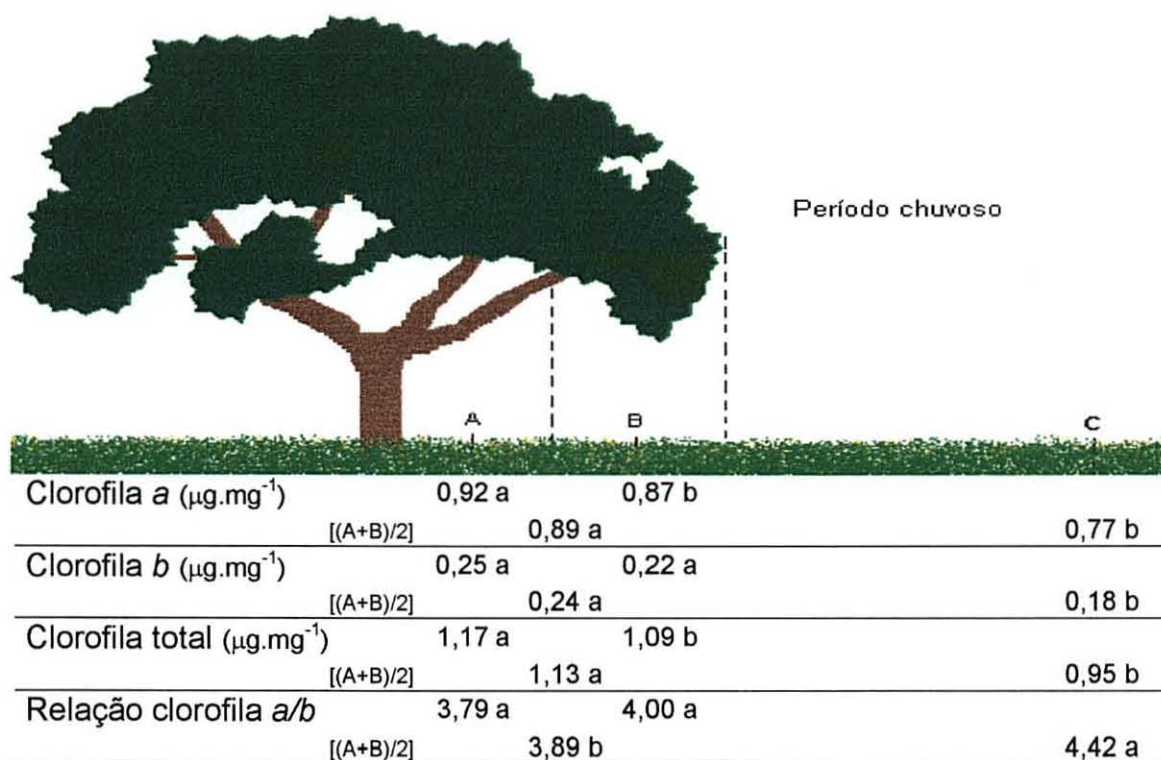
Avaliações realizadas em um sistema silvipastoril com predominância de árvores de guácimo (*Guazuma ulmifolia*) associadas à pastagem de *Panicum maximum*, também mostraram incrementos significativos de nutrientes no solo (GIRALDO, 1998). O mesmo autor chama atenção para os valores do potássio aportados ao solo, no período de inverno (14 a 33 kg/ha), isto devido a este elemento mineral ser muito importante para aquela pastagem e, também, porque parte dele pode ser reciclado através das árvores.

4.5 AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS ECOFISIOLÓGICAS NA PASTAGEM DE CAPIM-BÚFEL

4.5.1 Pigmentos foliares

Os conteúdos de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total (*a+b*) e relação *a/b* obtidos das folhas do capim-búfel em monocultivo e cultivado sob a copa das árvores, são mostrados na Figura 7. Essas observações referem-se somente ao período chuvoso, pois na época seca não foi possível obter material suficiente para quantificação dos referidos pigmentos.

Os valores médios encontrados nas folhas do capim-búfel cultivado sob a copa da algaroba [(A+B)/2], para conteúdo de clorofila *a* ($0,89\mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$), clorofila *b* ($0,24\mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$) e clorofila total ($1,13\mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$), foram sempre maiores e significativamente diferentes dos valores encontrados nas folhas da gramínea cultivada a céu aberto (ponto C), $0,77\mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$; $0,18\mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$ e $0,95\mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$, respectivamente (Figura 7).



Letras diferentes na mesma linha, para cada parâmetro analisado, indicam haver diferença significativa entre médias, pelo Teste F, a 5% de probabilidade.

FIGURA 7. Conteúdo e relação entre pigmentos foliares na gramínea cultivada sob a copa das árvores (pontos A e B) e na pastagem a pleno sol (ponto C), amostrados na época chuvosa (1998).

Os resultados encontrados estão de acordo com a literatura, pois, geralmente, folhas que se desenvolvem sob intensidade luminosa reduzida possuem maior quantidade de clorofila do que folhas desenvolvidas a pleno sol (SCHENK, 1952; BOARDMAN, 1977; FRIENDSHIP-KELLER et al., 1987 e IGBOANUGO, 1989). Segundo KRAMER & KOZLOWSKI (1979), isto ocorre porque a clorofila é constantemente sintetizada e destruída (foto-oxidação) na presença da luz e quando submetida à intensidade luminosa muito alta, a velocidade de decomposição é ainda maior. INOUE (1977), por exemplo, encontrou que o conteúdo de clorofila nas folhas de *Cedrela fissilis* e *Cedrela odorata* foi significativamente menor nas plantas mais expostas à luz, mesmo comportamento foi observado para *Ilex opaca* por STUTZ & FREY (1980).

Obedecendo a mesma tendência de comportamento, com relação a intensidade luminosa, pode-se observar ainda, na Figura 7, diferenças em conteúdo de pigmentos foliares na gramínea, em função do seu posicionamento sob a copa das árvores. Nas gramíneas cultivadas mais próximas do fuste (ponto A), locais que receberam menor intensidade luminosa (Figura 8b), os conteúdos de clorofila *a* e clorofila total foram significativamente superiores àqueles obtidos das folhas do capim cultivado nos locais representados pelo ponto B.

Os resultados obtidos para a relação entre clorofila *a* e *b*, também apresentaram diferenças significativas. Entretanto, esta relação foi em média menor (3,89) na pastagem sombreada pelas árvores, quando comparada com a gramínea cultivada a pleno sol (4,42). Esses resultados condizem com outros encontrados na literatura, que mostram mudanças de comportamento nos diferentes tipos de clorofila em função da intensidade luminosa e que a proporção entre a clorofila *a* e *b* tende a diminuir com a redução da luminosidade, indicando maior participação da clorofila *b* na condição sombreada (BOARDMAN, 1977; WHATLEY & WHATLEY, 1982; GRAÇA, 1983; TINOCO & VASQUEZ-YANES, 1985; LEE, 1988 e KOZLOWSKI et al., 1991). Apesar de que, outros autores não encontraram diferenças entre estas proporções (INOUE, 1983; GRAÇA, 1983 e NYGREN & KELLOMAKI, 1983/1984).

Uma participação mais efetiva da clorofila *b*, também, pode ser constatada nesse estudo, através da análise dos dados da Figura 7. Em termos percentuais, o sombreamento da pastagem, causado pela presença das árvores, induziu um incremento médio de clorofila *a*, nas folhas da gramínea, na ordem de 16%, em relação ao de cultivo a céu aberto. Enquanto que, para a clorofila *b* este incremento foi praticamente o dobro, ficando em torno de 33%. ENGEL & POGGIANI (1991) também constataram essa tendência ao concluírem que a concentração de clorofila nas folhas das espécies *Amburana cearensis*, *Erythrina speciosa*, *Tabebuia avellanedae* e *Zeyheria tuberculosa*, correlacionou-se positivamente com o nível de sombra, e esta correlação foi mais significativa para a clorofila *b*.

NAVES (1993), estudando a influência de diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) sobre a concentração de clorofilas foliares de mudas de três espécies florestais, observou que a redução da RFA aumentou a concentração das clorofilas *a* e *b* e diminuiu a relação clorofila *a/b*, indicando que a quantidade de clorofila *b* foi, proporcionalmente, maior do que a clorofila *a*. Diante desse resultado, o autor sugere que as clorofilas, especialmente a clorofila *b*, quando em condições de sombreamento, pode desempenhar um importante papel na absorção da radiação difusa.

Uma maior proporção relativa de clorofila *b* em plantas submetidas à baixas intensidades de luz, como no caso do capim-búfel cultivado sob a copa de árvores de algaroba no sistema silvipastoril, é uma característica importante, pois possibilita que esse tipo de clorofila capte energia de outros comprimentos de onda e a transfira para uma molécula específica de clorofila *a*, que é quem efetivamente toma parte das reações fotoquímicas da fotossíntese (WHATLEY & WHATLEY, 1982).

4.5.2 Intensidade luminosa e fotossíntese

Nas Figuras 8a e 8b são mostradas alterações de comportamento da gramínea com relação às variáveis fisiológicas intensidade luminosa, fotossíntese e área específica foliar, em função da presença e ausência do componente arbóreo na pastagem. Deve-se ressaltar que os dados obtidos na época seca restringiram-se à apenas 4 das 10 repetições inicialmente previstas, em razão da baixa disponibilidade de material para mensuração no período (folhas verdes). Este fato provavelmente contribuiu para que as variáveis estudadas nesse período apresentassem um maior coeficiente de variação.

A intensidade luminosa medida sob o dossel das árvores foi significativamente menor do que aquela obtida na pastagem a pleno sol, independentemente do período amostrado (Figuras 8a e 8b). Na época seca, a intensidade de luz, mensurada sob a copa $[(A+B)/2]$, correspondeu a 24% do total recebido pela pastagem em monocultivo. No período chuvoso, esse

percentual foi reduzido para 15%, provavelmente, em função de alterações ocorridas na fenologia da espécie arbórea, representadas pelo incremento do número de folhas novas nessa fase, resultando numa diminuição do percentual de radiação sobre a área mensurada (Quadro 2).

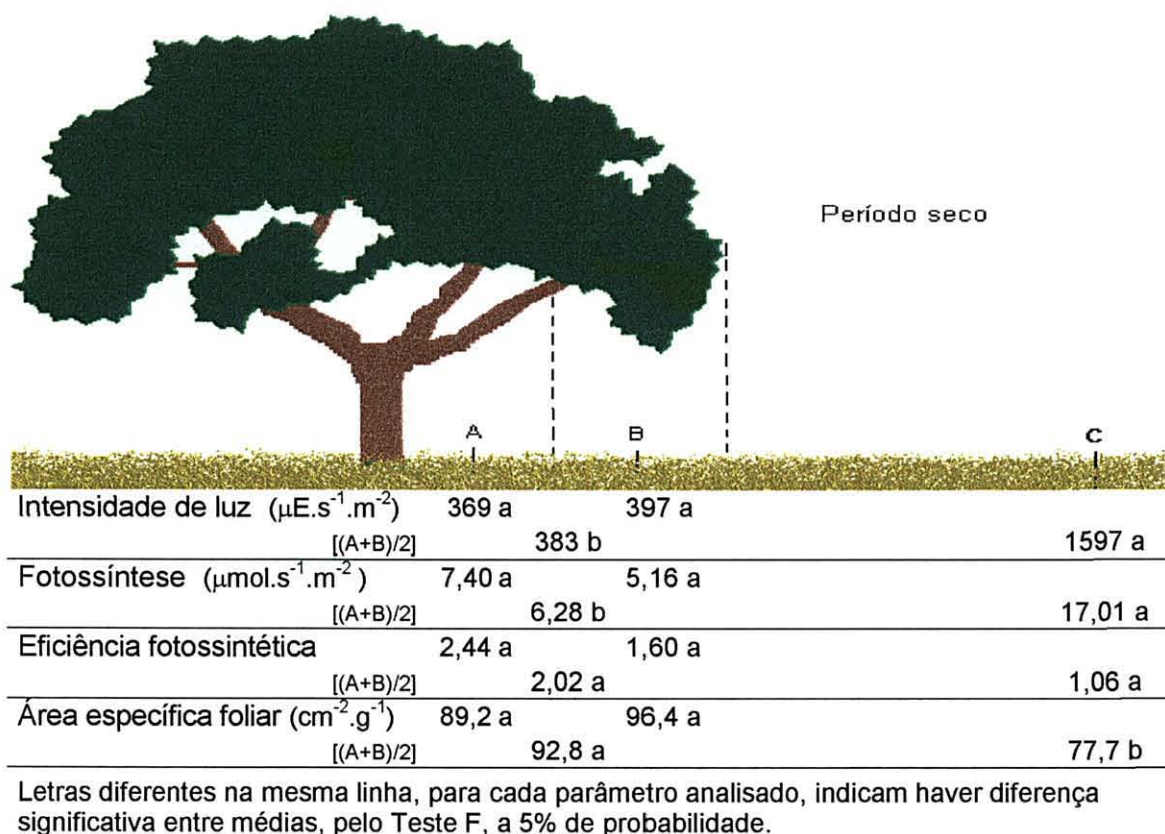
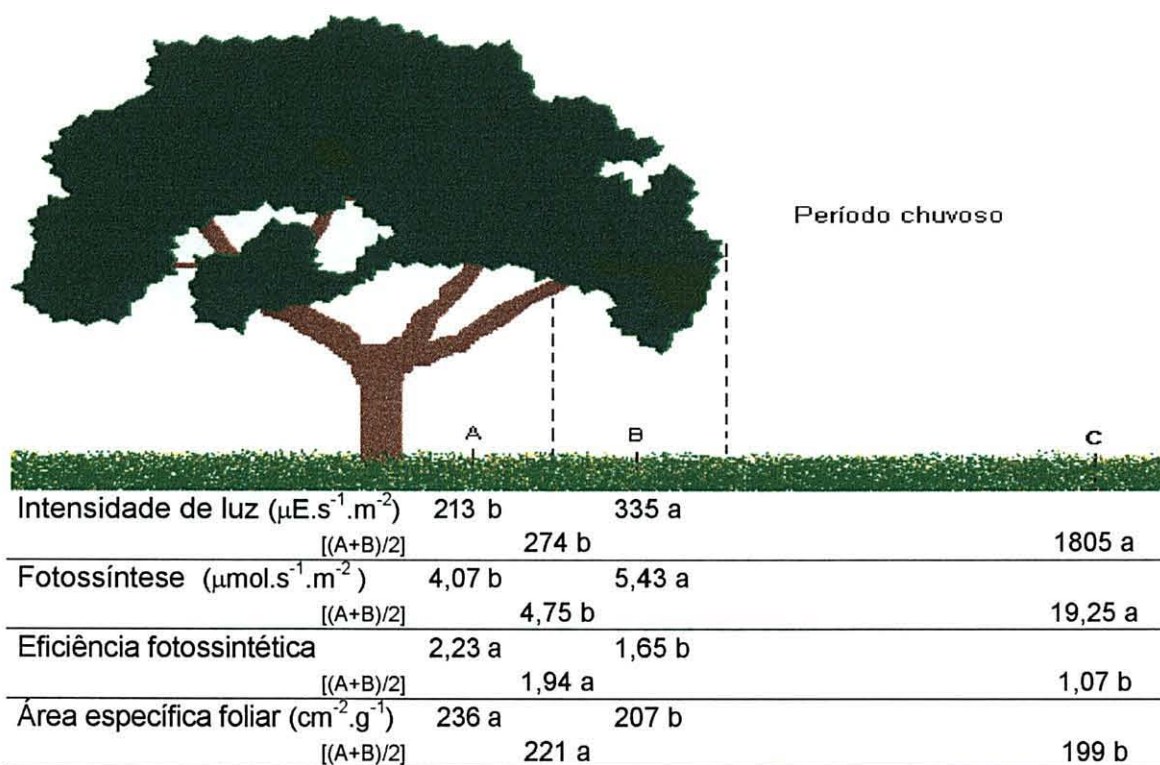


FIGURA 8a. Variáveis fisiológicas mensuradas sobre a gramínea cultivada sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época seca (1997).

Na época chuvosa (Figura 8b), com relação à luz, pode-se constatar, ainda, diferença entre os dois locais de mensuração sob a copa das árvores (pontos A e B). A intensidade luminosa foi significativamente menor sobre a pastagem cultivada nos locais mais próximos ao fuste das árvores, tendo a fotossíntese líquida acompanhado a mesma tendência de comportamento, nesse período ($4,07 \mu\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$).



Letras diferentes na mesma linha, para cada parâmetro analisado, indicam haver diferença significativa entre médias, pelo Teste F, a 5% de probabilidade.

FIGURA 8b. Variáveis fisiológicas mensuradas sobre a gramínea cultivada sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época chuvosa (1998).

Entretanto, no cálculo da eficiência fotossintética relativa (EFR) ficou demonstrado que as gramíneas cultivadas à sombra foram mais eficientes do ponto de vista de conversão de luz recebida em energia química (fotossíntese). Sendo que no período chuvoso esta diferença foi estatisticamente significativa. CRUZ et al. (1995) também constataram que pastagens de *Dichanthium aristatum*, tanto submetidas a um sombreamento artificial quanto cultivadas sob a copa de *Leucaena leucocephala*, apresentaram maior taxa de assimilação de CO_2 e maior eficiência no uso da radiação (EUR) do que quando foram cultivadas sob condição de luz plena. Ou seja, produziram proporcionalmente maior quantidade de matéria seca recebendo menor incidência de radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

No presente estudo, os maiores teores de nitrogênio e de clorofilas, principalmente a do tipo *b*, encontrados nas folhas das gramíneas cultivadas sob a copa das árvores e, também, às modificações morfológicas ocorridas nas folhas do capim-búfel, nessas mesmas condições, caracterizadas pelo aumento da área específica foliar (AEF), provavelmente, foram os principais fatores responsáveis pela maior eficiência fotossintética verificada quando as plantas foram submetidas à intensidade luminosa reduzida.

CRUZ (1997) também concluiu que a redução da RFA foi compensada por um aumento na eficiência de uso da radiação (EUR) em *D. aristatum*, cultivada em condições sombreadas e atribuiu esse comportamento aos níveis mais altos de N disponíveis no solo. Segundo o mesmo autor, as maiores concentrações de N obtidas nas folhas das plantas sombreadas possibilitaram uma maior taxa de assimilação de CO₂ pela gramínea.

4.5.3 Área específica foliar

A presença do componente arbóreo na pastagem influenciou significativamente o comportamento da área específica foliar (AEF) das gramíneas cultivadas no sistema silvipastoril. Os valores médios obtidos para as AEFs, sob a copa das árvores $[(A+B)/2]$, foram sempre maiores e significativamente diferentes das médias encontradas para as folhas da gramínea cultivada a pleno sol (ponto C), independentemente do período climático mensurado (Figuras 8a e 8b).

A mesma tendência de comportamento pode ser observada nas avaliações realizadas especificamente sob a copa das árvores, no período chuvoso (Figura 8b), quando as folhas da gramínea submetidas a menores intensidades luminosas (ponto A) apresentaram também maior valor de AEF ($236 \text{ cm}^{-2}.\text{g}^{-1}$) em comparação com a média ($207 \text{ cm}^{-2}.\text{g}^{-1}$) obtida para o capim que ficou um pouco mais exposto à luz, nos locais próximos ao limite de projeção da copa, representados pelo ponto B.

Entretanto, na época seca (Figura 8a), não se observa diferenças entre as médias obtidas das folhas da gramínea cultivada sob a copa das árvores

(pontos A e B). Deve-se ressaltar que nesse período os valores médios de AEF se originaram de amostras coletadas em apenas quatro árvores.

Semelhantes alterações na AEF, induzidas pela luz, foram relatadas em diversas outras espécies e os autores são unânimes ao afirmar que essa característica aumenta quando as plantas são cultivadas sob intensidade luminosa reduzida (MITCHELL, 1955; EAGLES, 1973; LUDLOW et al., 1974; SINGH et al., 1974; BJÖRKMAN, 1981; RAWSON & HINDMARSH, 1983; STRUIK, 1983; KASIM & DENNETT, 1986; SAMARAKOON et al., 1990 a; VALENZUELA et al., 1991; MORITA et al., 1994 e CARVALHO, 1996).

O aumento da AEF é reflexo de modificações nas dimensões e formato das folhas das plantas em resposta à alterações na luminosidade. As folhas de sombra, normalmente, são maiores em comprimento e/ou largura (maior área foliar) e também são mais delgadas (menor peso) do que aquelas produzidas em intensidade luminosa elevada (KIGEL & KOLLER, 1970; LUDLOW & WILSON, 1971; EAGLES, 1973 e WONG & WILSON, 1980).

Incrementos na AEF de espécies cultivadas à sombra, como observado no presente trabalho, são de grande interesse, uma vez que essa característica tem sido associada com a tolerância ao sombreamento, visto que a maior AEF implica em aumento da capacidade de interceptação de luz pela planta, pois é uma das maneiras da planta aumentar a superfície fotossintética, assegurando um aproveitamento mais eficiente nas baixas intensidades luminosas (LUGO, 1973; BOARDMAN, 1977; JONES & McLEOD, 1990 e SAMARAKOON et al., 1990 a)

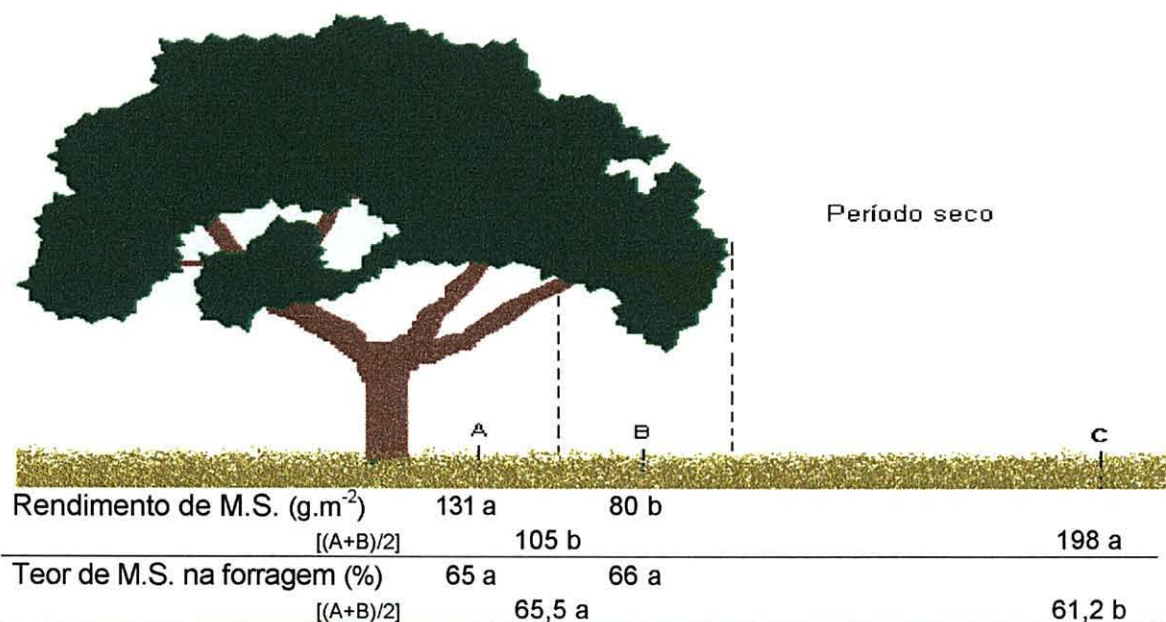
4.6 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO CAPIM-BÚFEL

As Figuras 9a e 9b mostram a produção (rendimento) de matéria seca total da parte aérea da gramínea (g.m^{-2}) e os teores de matéria seca na forragem produzida (%), obtidas nas parcelas cultivadas sob efeito do componente arbóreo (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), nos períodos seco e chuvoso, respectivamente.

Deve-se ressaltar que no período chuvoso ocorreu um severo ataque de lagartas desfolhadoras (*Mocis latipes*) e, também, condições meteorológicas atípicas (Quadro 1) atribuídas ao fenômeno “El Niño”. Fatos estes que comprometeram a produção de forragem, principalmente nessa etapa de desenvolvimento do capim-búfel, inviabilizando as comparações de produtividade entre os dois períodos avaliados.

4.6.1 Rendimento de matéria seca total

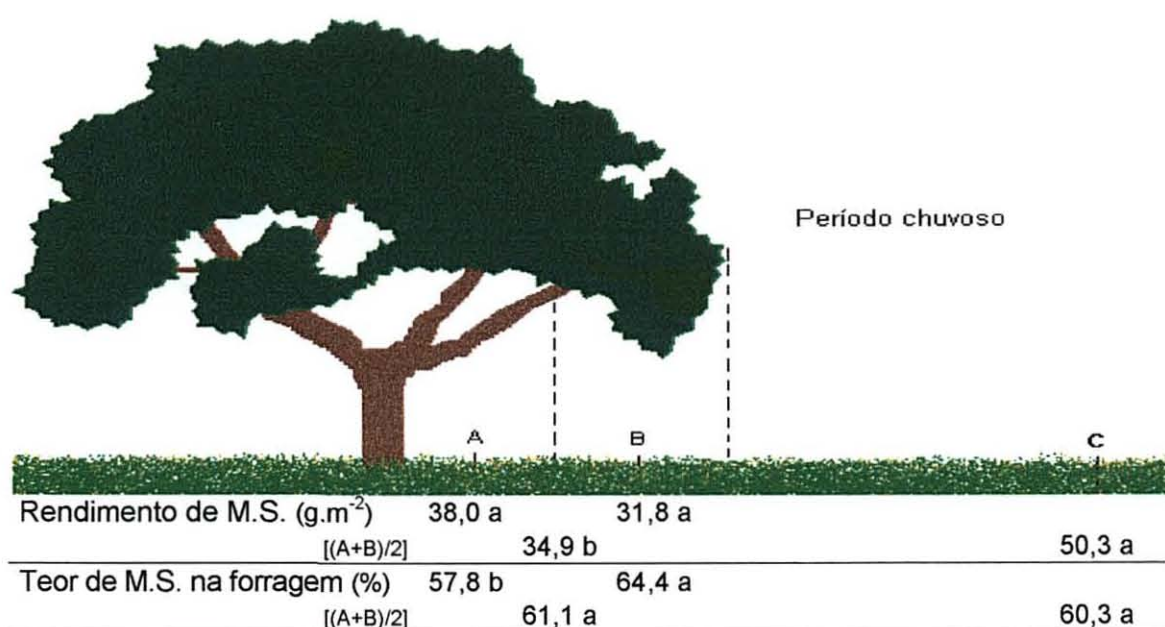
Pode-se perceber nas Figuras 9a e 9b que houve efeito significativo da presença das árvores sobre a produção de forragem da gramínea. O rendimento médio de matéria seca (M.S.) forrageira obtido nas parcelas sob a influência da algaroba foi sempre menor e significativamente diferente da produção encontrada na condição da pastagem cultivada a plena luz (ponto C), independentemente do período amostrado.



Letras diferentes na mesma linha, para cada parâmetro analisado, indicam haver diferença significativa entre médias, pelo Teste F, a 5% de probabilidade.

FIGURA 9a. Rendimento médio de matéria seca total da pastagem e teores médios de matéria seca na forragem do capim-búfel, sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época seca (1997).

Esses resultados estão de acordo com a literatura, pois, apesar das diferenças de tolerância das gramíneas e leguminosas herbáceas a diferentes níveis de sombra no sub-bosque, de maneira geral a tendência é que haja redução da produtividade. A produção de forragem normalmente decresce a medida que a percentagem de cobertura das árvores aumenta (DACCARETT & BLYDENSTEIN, 1968; BARBOSA & GURGEL GARRIDO, 1990; GIRALDO et al., 1995 e DANIEL & COUTO, 1998) e o maior decréscimo de produção se observa, principalmente, a partir de 50% de cobertura (EHRENREICH & CROSBY, 1958 e DACCARETT & BLYDENSTEIN, 1968).



Letras diferentes na mesma linha, para cada parâmetro analisado, indicam haver diferença significativa entre médias, pelo Teste F, a 5% de probabilidade.

FIGURA 9b. Rendimento médio de matéria seca total da pastagem e teores médios de matéria seca na forragem do capim-búfel, sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), na época chuvosa (1998).

Entretanto, existe ainda um número expressivo de outros resultados que são muitas vezes conflitantes com relação ao comportamento de gramíneas forrageiras submetidas ao consórcio com espécies arbóreas.

DACCARETT & BLYDENSTEIN (1968), ANDERSON & MOORE (1987), MARQUES (1990) e SILVA et al. (1998) relatam nenhuma ou muito pouca alteração no rendimento de matéria seca de gramíneas submetidas a diferentes níveis de sombreamento.

Enquanto que, BRONSTEIN (1984), ALPÍZAR (1985), RODRIGUEZ, 1985, AYERSA et al. (1988), KASS (1992), OVALLE & AVENDAÑO (1994), ARIAS (1998), GIRALDO (1998) e MAHECHA et al. (1998) demonstraram que a presença de árvores nas pastagens pode aumentar significativamente a produção de matéria seca forrageira. Sobre tudo, quando se utiliza espécies leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio.

MAHECHA et al. (1998) mencionam, por exemplo, que num sistema silvipastoril envolvendo a associação de algaroba (*Prosopis juliflora*) com pasto estrela (*Cynodon plectostachyus*), a gramínea sombreada produziu 38,3 t/ha/ano de forragem (matéria seca) contra 23,2 t/ha/ano no monocultivo.

A potencialidade das leguminosas arbóreas para melhorar o rendimento das pastagens em comparação com outras árvores não fixadoras de nitrogênio é conhecida há bastante tempo. JAGOE (1949), na Malaya, encontrou um significativo aumento na produção de *Axonopus compressus* quando se desenvolvia sob a copa da espécie *Enterolobium saman* em comparação aos pastos que cresciam sem sombra ou debaixo de árvores não leguminosas.

Resultados condizentes foram encontrados por ALPÍZAR (1985) para um melhor desempenho da gramínea *Cynodon plectostachyus* associada à *Erythrina poeppigiana* em comparação com *Cordia alliodora*. Durante cinco anos, a forragem colhida de *C. plectostachyus* associada com *E. poeppigiana* produziu 60% a mais do que a mesma gramínea associada a *Cordia alliodora*, uma espécie madeireira que não fixa nitrogênio. Ainda, dentro desse contexto, ARIAS (1998) também confirma algumas vantagens da *Leucaena leucocephala* sobre *Gmelina arborea* em sistemas silvipastoris com relação ao desenvolvimento de três gramíneas forrageiras *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha* e *B. decumbens*.

Todavia, mesmo se tratando de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio, nem sempre as gramíneas apresentam boa performance à sombra dessas árvores, segundo demonstrou BUSTAMANTE et al. (1998), ao avaliar oito espécies em monocultura e associadas à *E. poeppigiana*. Apesar da maioria das gramíneas ter sido beneficiada com a presença da leguminosa arbórea, as espécies *Pennisetum purpureum* cv. Enano e *Brachiaria dictyoneura*, foram influenciadas negativamente pelo sombreamento, produzindo em torno de 11% menos biomassa por hectare do que quando cultivadas isoladas.

Resultados semelhantes foram obtidos por CARVALHO et al. (1997) ao avaliarem o desempenho de seis gramíneas forrageiras em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*). As condições ambientais no sub-bosque (62% de sombra e menor teor de água no solo) concorreram para reduzir significativamente ($P < 0,01$) a produção total (soma de três cortes) de matéria seca das gramíneas. Contudo, o efeito também variou entre espécies e as produções das gramíneas *Brachiaria brizantha*, *Panicum maximum* e *Setaria sphacelata* não diferiram significativamente entre as áreas de sol e de sombra.

A produção de forragem das gramíneas *Panicum maximum*, *Chloris gayana*, *Setaria sphacelata* e *Paspalum notatum* cultivadas sob condições de severa deficiência de N e a uma luminosidade que correspondia a 50-75% da radiação solar total, foi superior àquela obtida em áreas abertas não sombreadas. No entanto, a espécie *Cenchrus ciliaris* cultivada nas mesmas condições apresentou queda de 5% na sua produtividade (WILD et al., 1993).

Na Índia, os rendimentos de *Cenchrus ciliaris* e *Lasiurus indicus* associados a *Acacia tortilis* e *Zizyphus rotundifolia* foram menores do que quando as gramíneas eram cultivadas solteiras (SHARMA et al., 1998). RAMAKRISHNA, et al. (1981) atribuem como fator responsável pelos baixos rendimentos do capim-búfel (*C. ciliaris*) associado à *Acacia tortilis*, a reduzida disponibilidade de radiação solar sob a copa das árvores. Esses autores recomendam para um estabelecimento e crescimento satisfatórios que as árvores sejam podadas para aumentar a penetração de energia.

Analizando, ainda, o comportamento da gramínea especificamente sob a copa da algaroba, pode-se observar que as menores produções de matéria seca ocorreram nos locais mais próximos do limite da projeção das copas (ponto B), sendo essas diferenças significativas no período seco (Figuras 9a). Segundo DACCARETT & BLYDENSTEIN (1968), a presença de uma árvore pode influir no desenvolvimento de um estrato vegetal herbáceo de diferentes formas. Suas raízes competem com as raízes das plantas herbáceas por água e nutrientes no solo e a copa intercepta a luz necessária para a fotossíntese.

Num sistema silvipastoril, onde a interceptação de luz era considerada relativamente baixa, observou-se um ligeiro decréscimo na produção de matéria seca da vegetação herbácea sob a copa das espécies *Erythrina poeppigiana* e *Gliricidia sepium*. Fato este, atribuído a presença de um maior número de raízes superficiais em ambas espécies, em comparação com *Pithecolobium saman* e *Cordia alliodora*. Mais de 80% das raízes das duas leguminosas estavam a uma profundidade entre 10 e 20 cm., a um metro da árvore. Sendo que na *Erythrina poeppigiana* se encontraram raízes a três metros da árvore com 88% nos primeiros 10 cm do solo (DACCARETT & BLYDENSTEIN, 1968).

Fato semelhante pode ter ocorrido no presente estudo e, também, contribuído para a redução do rendimento de matéria seca do capim-búfel cultivado sob as árvores, particularmente, naqueles locais representados pelo ponto B, uma vez que, o sistema radicial da algaroba é predominantemente superficial (VALDÍVIA, 1982) e o seu crescimento lateral acompanha o desenvolvimento do diâmetro da copa (RIBASKI, 1987 e LIMA, 1988).

Reforçando essa hipótese, pode-se observar que, tanto os teores de umidade (Figuras 4a e 4b) quanto os teores da maioria dos nutrientes no solo (Figuras 6a e 6b), nesses mesmos locais (ponto B), foram sempre menores (porém, nem sempre alcançando significância estatística) do que aqueles amostrados mais próximos do fuste das árvores (ponto A).

4.6.2 Teor de matéria seca

Foram observados efeitos significativos da presença das árvores sobre o teor de matéria seca da gramínea estudada, no período seco (Figura 9a). O teor médio de M.S. aumentou significativamente na condição sombreada $[(A+B)/2]$, apresentando um incremento de 4,3 pontos percentuais sobre os teores verificados no capim-búfel em monocultivo. Mas, não houve diferença na concentração de matéria seca entre os locais mais próximos do fuste (ponto A) e aqueles próximos aos limites da projeção da copa (ponto B).

Já, no período chuvoso (Figura 9b) os teores médios encontrados sob a copa (61,11%) não diferiram dos teores encontrados na pastagem cultivada a céu aberto (60,34%). Porém, verificou-se entre os dois pontos mensurados sob a copa (A e B), diferença significativa de concentração de matéria seca. Sendo que os menores teores foram encontrados mais próximos do fuste (57,8%).

Diversos resultados de pesquisas têm evidenciado que, normalmente, gramíneas cultivadas à sombra são mais suculentas, conseqüentemente possuem menor teor de matéria seca (BURTON et al., 1959; GORDON et al., 1962; McEWEN & DIETZ, 1965; ERIKSEN & WHITNEY, 1981; SMITH et al., 1984; SAMAROKOON et al., 1990b e CASTRO, 1996). Esta afirmativa somente é válida, no presente estudo, para a época chuvosa, quando a gramínea mais próxima ao fuste, apresentou as citadas características.

Com relação ao fato dos teores médios de matéria seca $[(A+B)/2]$, do capim-búfel cultivado sob a copa das árvores (Figura 9b), não terem sofrido alterações significativas com a redução da luminosidade ambiente (Quadro 2 e Figura 8b), mesma tendência de comportamento foi observada também por KIGEL & KOLLER (1970) e MAYLAND & GRUNES (1974) em *Oryzopsis miliacea* e *Agropyron desertorum*, respectivamente.

Na outra condição (época seca) os maiores teores de matéria seca obtidos sob a copa das árvores contrariam a maioria dos resultados encontrados na literatura e podem estar relacionados com a competição entre as duas espécies no que diz respeito a consumo de água. Contudo, deve-se

ressaltar que CASTRO (1996) também encontrou aumento de teores de matéria seca em *Melinis minutiflora* quando esta gramínea passou de um sombreamento moderado (30%) para um mais intenso (60%).

4.7 VALOR NUTRITIVO DA PASTAGEM NO SISTEMA SILVIPASTORIL

Os valores encontrados para Nitrogênio (N), Proteína Bruta (PB), Fibra Detergente Neutro (FDN) e Digestibilidade “*in vitro*” da Matéria Seca (DIVMS), na parte aérea total do capim-búfel, cultivado sob a copa das árvores de algaroba e fora da sua influência, são mostrados nas Figuras 10a e 10b, representando os períodos seco e chuvoso, respectivamente.

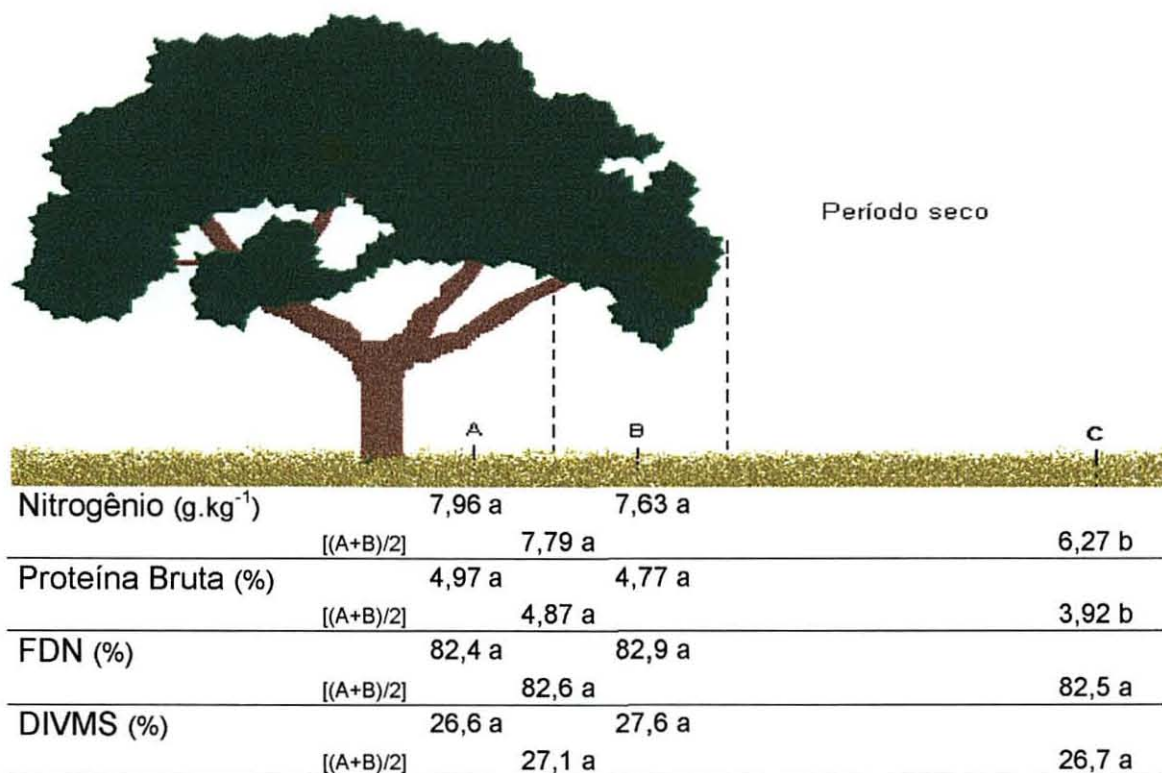
4.7.1 Nitrogênio

Na amostragem realizada sob a copa das árvores no período seco (Figura 10a), nos locais representados pelos pontos A e B, não foi encontrada diferença entre os teores de nitrogênio presentes na matéria seca do capim. Porém, na época chuvosa (Figura 10b), a gramínea cultivada mais próxima ao fuste das árvores apresentou maiores concentrações desse nutriente (1,35%), as quais diferiram significativamente dos valores encontrados nas plantas mais próximas da projeção da copa das árvores (1,19%).

Na comparação dos teores médios de N, obtidos na pastagem sombreada $[(A+B)/2]$, com os teores encontrados na matéria seca do capim-búfel cultivado a pleno sol (ponto C), pode-se perceber diferenças altamente significativas entre estas duas distintas condições. As concentrações de N foram sempre maiores na condição sombreada, independentemente do período amostrado.

De acordo com WILSON (1990), o aumento da concentração de nitrogênio em plantas cultivadas sob intensidade luminosa reduzida é tido como um comportamento típico em tais circunstâncias, podendo ser observado com bastante frequência em outros trabalhos (BURTON et al.,

1959; ERIKSEN & WHITNEY, 1981; WILSON & WONG, 1982; ALPÍZAR, 1985 e CASTRO, 1996).



Letras diferentes na mesma linha, para cada parâmetro analisado, indicam haver diferença significativa entre médias, pelo Teste F, a 5% de probabilidade.

FIGURA 10a. Teores de nitrogênio, proteína bruta, fibra detergente neutro (FDN) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) do capim-búfel cultivado sob a copa da algaroba (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), amostrados na época seca (1997).

ERIKSEN & WHITNEY (1981), por exemplo, constataram, através de um sombreamento artificial progressivo, que as percentagens de N na forragem seca de *Panicum maximum*, *Brachiaria miliiformis* e *Digitaria decumbens* variaram inversamente com a radiação e foram mais altas com intensidade de luz reduzida. Esses autores atribuem à elevação dos teores desse elemento na matéria seca da gramínea, causado pelo sombreamento, como um dos fatores responsáveis pela melhoria da qualidade da pastagem. Este fato também pode ser considerado como um aspecto favorável à

produção animal, tendo em vista que os solos tropicais são geralmente pobres em nitrogênio e a fertilização com N é frequentemente insuficiente e muito cara. Assim, pode haver uma vantagem significativa na produção de gramíneas forrageiras em sistemas silvipastoris.

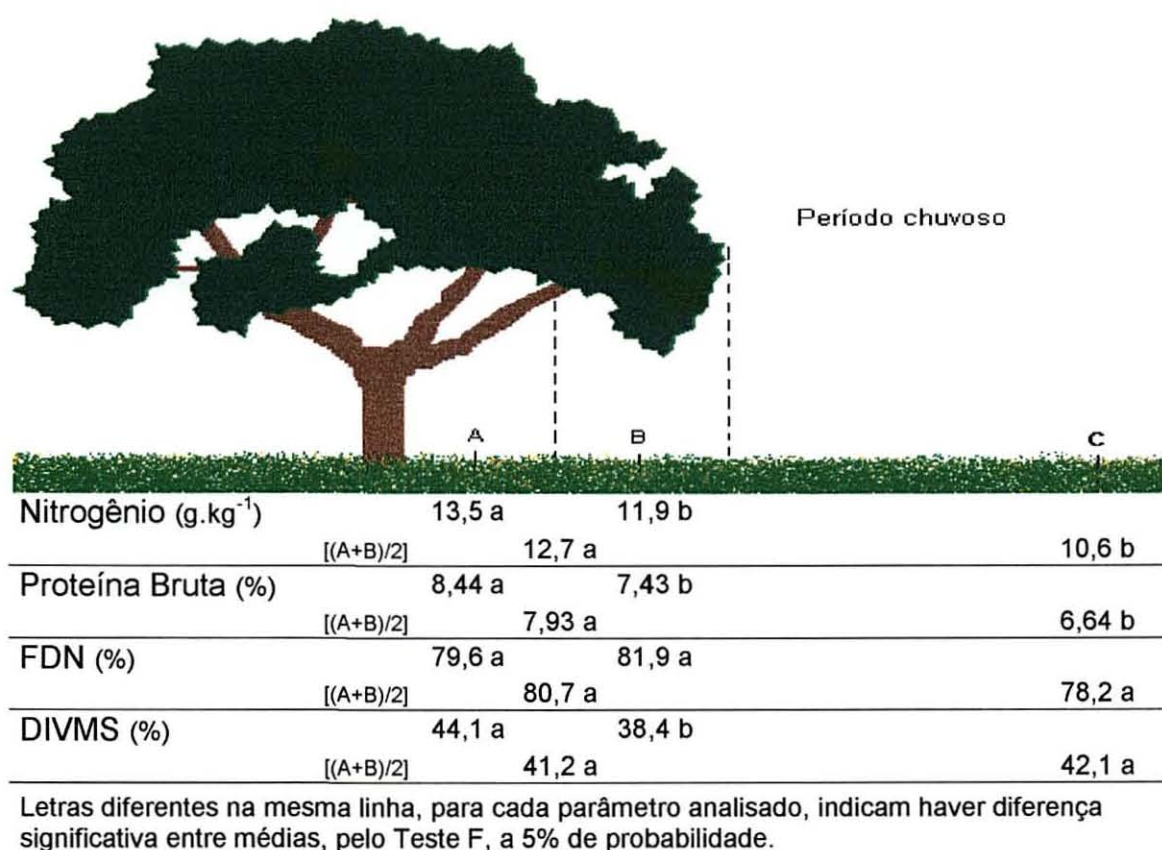


FIGURA 10b. Teores de nitrogênio, proteína bruta, fibra detergente neutro (FDN) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) do capim-búfel cultivado sob a copa da algaroba (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), amostrados na época chuvosa (1998).

Com a inclusão de árvores leguminosas em pastagens de *Cynodon plectostachyus*, MAHECHA et al. (1998) observaram um efeito positivo sobre a composição química do solo, sobretudo com relação aos teores de N, graças a uma maior adição de matéria orgânica e, também, maior ciclagem de nutrientes. Isto repercutiu em uma maior produção e qualidade nutritiva da

forragem da gramínea, além de uma maior disponibilidade de material forrageiro total consumível no sistema.

ALPÍZAR (1985) ressalta, ainda, que os percentuais de nitrogênio presentes na forragem, dessa mesma espécie forrageira, sob a copa de *Erythrina poeppigiana* (1,81%) e de *Cordia alliodora* (1,51%) foram considerados adequados para suprir as necessidades nutritivas de bovinos, entretanto, o mesmo não ocorreu com os teores de nitrogênio encontrados no pasto sem árvores (0,95%).

4.7.2 Proteína bruta

Como o teor de proteína bruta (PB) foi calculado com base na concentração de nitrogênio, determinada na matéria seca do capim-búfel, os resultados obtidos para PB obedeceram a mesma tendência de comportamento observada para o N (Figuras 10a e 10b).

Sob a copa das árvores, pode-se observar diferenças significativas nos teores de PB, somente no período chuvoso (Figura 10b), com maior percentual de proteína na forragem da gramínea cultivada mais perto do fuste (8,44%), em comparação com aqueles obtidos da gramínea crescendo mais próxima ao limite de projeção da copa (7,43%).

Os teores médios de PB obtidos na forragem das gramíneas cultivadas à sombra $[(A+B)/2]$ foram sempre maiores e significativamente diferentes daqueles encontrados nas plantas desenvolvidas ao sol (ponto C), independentemente do período amostrado.

Resultados semelhantes foram conseguidos por CASTRO (1996), ao calcular os teores de PB ($N \times 6,25$), com base nos valores de N obtidos por ERIKSEN & WHITNEY (1981) e SCHREINER (1987), para as gramíneas *Brachiaria decumbens*, *B. miliiformis*, *Digitaria decumbens*, *Hemarthria altissima*, *Panicum maximum* e *Paspalum notatum*, submetidas a diferentes níveis de sombreamento artificial.

De acordo com alguns autores, também se pode proporcionar efeitos positivos sobre a qualidade da forragem com a inclusão de árvores em

pastagens, principalmente utilizando leguminosas. Diversas gramíneas, que se desenvolvem na sombra da copa dessas árvores, apresentam melhor qualidade nutritiva (maior conteúdo de proteína bruta) em comparação com as que crescem em plena exposição solar (McEWEN & DIETZ, 1965; DACCARETT & BLYDENSTEIN, 1968; BRONSTEIN, 1984; RODRÍQUEZ, 1985; PINNEY, 1989; ARIAS, 1998; BOTERO & RUSSO, 1998 e HERNÁNDEZ et al., 1998).

BRONSTEIN (1984), por exemplo, estudando a associação da gramínea *Cynodon nlemfuensis* com as espécies arbóreas *Erythrina poeppigiana* e *Cordia alliodora*, observou que a produção da pastagem aumentou quando foi associada com as árvores. Entretanto, o conteúdo de proteína na pastagem teve um incremento significativo somente quando se encontrava associada com *E. poeppigiana*, que é uma leguminosa.

Mesma tendência de comportamento foi encontrada por DACCARETT & BLYDENSTEIN (1968), que consideraram a *E. poeppigiana* como a principal responsável pelo aumento de proteína no extrato herbáceo, destacando-se das demais (*Gliricidia sepium*, *Pithecolobium saman* e *Cordia alliodora*), pelo grande número de nódulos nas raízes ao mesmo nível no solo das raízes das gramíneas *Panicum maximum*, *Paspalum fasciculatum*, *Homolepis aturensis* e *Digitaria decumbens*. No entanto, não foram encontradas diferenças de produtividade entre as gramíneas testadas.

Segundo RAMÍREZ (1997), os conteúdos de PB, encontrados numa pastagem de *Cynodon plectostachyus* em monocultivo (11,2%), foram inferiores aos tratamentos com a presença das leguminosas leucena (*Leucaena leucocephala*) e algaroba (*Prosopis juliflora*). Ou seja, 14,5% para os sistema pasto + leucena + algaroba e 13,95% para o pasto + algaroba. Vale ressaltar ainda, nesse trabalho, que a gramínea associada às leguminosas sem fertilização nitrogenada alcançou teores de proteína similares à gramínea associada com uréia, evidenciando, assim, a habilidade dessas leguminosas na fixação de N atmosférico e a capacidade delas em adicionar matéria orgânica ao solo (MAHECHA et al., 1998).

As diferenças em concentração de proteína entre a testemunha (pastagem em monocultivo) e os tratamentos associados às árvores se explicam, em parte, porque um dos principais efeitos da sombra, sobre a composição química de gramíneas, é um marcante incremento nos teores de nitrogênio (ERIKSEN & WHITNEY, 1981; WILSON, 1990 e CASTRO, 1996).

Por outro lado, os menores teores de PB nas folhas das gramíneas no período seco (abaixo de 5%) em comparação com aqueles outros encontrados na época chuvosa (em torno de 8%), são atribuídos às variações naturais que ocorrem nas plantas. AYERSA (1981), por exemplo, relata a existência de uma significativa variação na composição química do capim-búfel em função do seu desenvolvimento. Os valores máximos e mínimos, encontrados para a proteína bruta, foram de 12 e 3%, respectivamente, sendo que o material jovem apresentou 7,4% e, o maduro, 5,5%.

Na região semi-árida do Nordeste, durante o período seco, muitas vezes o nível protéico das pastagens cultivadas com gramíneas, dentre elas o capim-búfel, não é suficiente para os animais manterem ou ganharem peso (SALVIANO, 1984). Este autor relata que é necessária uma dieta com um valor mínimo de 7% de proteína bruta para que os bovinos mantenham seu peso. Porém, níveis iguais ou superiores a esse somente são observados durante o período chuvoso. No período seco, em função da maturação das gramíneas e do desaparecimento de leguminosas nativas, encontram-se, freqüentemente, pastagens com menos de 5% de proteína bruta.

4.7.3 Fibra

As concentrações de fibra detergente neutro (FDN) na forragem do capim-búfel não foram afetadas pela presença das árvores de algaroba na pastagem (Figuras 10a e 10b), independentemente do período amostrado. Esses resultados estão de acordo com aqueles encontrados por MUOGHALU & ISICHEI (1995), para *Andropogon gayanus*, *A. schirensis* e *Setaria pumila*, cultivadas num sub-bosque da savana nigeriana, onde as concentrações de FDN também não sofreram alterações significativas.

Segundo CASTRO (1996), o decréscimo da concentração de FDN na forragem, como um todo, parece ser a tendência geral de comportamento das gramíneas forrageiras, em resposta ao sombreamento. Todavia, trabalhando com diferentes níveis de sombra artificial, o referido autor apresenta essa evidência somente para gramíneas de porte alto, uma vez que o sombreamento moderado (30%) induziu o aumento dos teores de FDN, nas folhas e, principalmente, nos caules das gramíneas de porte baixo.

DACCARETT & BLYDENSTEIN (1968) também encontraram diferença entre as percentagens de fibra em uma vegetação herbácea, composta, principalmente, pelas gramíneas *Panicum maximum*, *Paspalum fasciculatum* e *Homolepis aturensis* e, em menor proporção, por *Digitaria decumbens*. Nesse estudo foi constatada maior quantidade de fibra na vegetação herbácea da testemunha (sem árvores), em comparação com a que se desenvolvia na sombra das árvores. Uma vez que a percentagem de fibra aumenta com a idade da planta, os mesmos autores, após deduzirem que as forrageiras debaixo das árvores eram mais palatáveis, atribuíram aos menores teores de fibra encontrados a ocorrência de uma renovação mais freqüente das forrageiras sob a copa das árvores e, também, a uma maior idade das plantas na parcela testemunha, sem sombra.

4.7.4 Digestibilidade

Os resultados da análise da Digestibilidade “in vitro” da Matéria Seca (DIVMS) do capim-búfel, apresentados nas Figuras 10a e 10b, não mostram diferenças significativas entre as médias $[(A+B)/2]$ obtidas para a gramínea cultivada sob a copa das árvores e em área aberta, fora da influência do componente arbóreo (ponto C). Entretanto, no período chuvoso (Figura 10b) pode-se perceber um aumento significativo, em torno de 6 pontos percentuais, na digestibilidade da forragem cultivada mais próxima do fuste das árvores em relação à obtida nos locais representados pelo ponto B (próximos ao limite de projeção da copa)

BRONSTEIN (1984) também não encontrou diferenças significativas para a pastagem *Cynodon plectostachyus* em monocultivo e associada a *Erythrina poeppigiana* e *Cordia alliodora*, com relação a digestibilidade (DIVMS), apesar de existir uma tendência de aumento da percentagem quando a gramínea foi associada às espécies arbóreas.

De acordo com a literatura, a idade fisiológica da planta forrageira e as condições do ambiente em que ela se desenvolve podem afetar a sua composição química e, conseqüentemente, a digestibilidade de seus nutrientes e a eficiência de sua utilização (Bressani et al., 1958 e Jones & Hogue, 1963, citados por CASTRO (1996). O processo natural de maturação fisiológica da pastagem implica em redução de sua qualidade, principalmente, pela diminuição dos teores de proteína bruta e aumento da concentração de fibras. É a baixa concentração de proteína na dieta resulta em baixa digestibilidade de suas fibras (AYERZA, 1981). CASTRO (1996) defende a hipótese de que as árvores, ao promoverem o sombreamento das pastagens, reduziram os extremos microclimáticos, proporcionando assim elevação do conteúdo protéico e, conseqüentemente, favorecendo a digestibilidade da forragem produzida.

Entretanto, segundo SAMARAKOON et al. (1990 a e 1990 b), não é possível generalizar, muito menos prever o comportamento da digestibilidade de uma determinada espécie quando cultivada sob intensidade luminosa reduzida, pois o efeito do sombreamento sobre a DIVMS pode ser tanto positivo (FLEISCHER et al., 1984 e KEPHART & BUXTON, 1993) quanto negativo (WILSON & WONG, 1982; BELSKI, 1992 e CASTRO et al., 1998) ou ainda nulo (BRONSTEIN, 1984).

Comparando-se os resultados em relação as duas épocas de avaliação (Figuras 10a e 10b), pode-se observar que os percentuais médios de DIVMS no período seco foram significativamente inferiores (26,9%) aos encontrados na época chuvosa (41,7%). Segundo MURGUEITIO & CALLE (1998) na época seca, de maneira geral, ocorre a mínima produção e a máxima lignificação das pastagens.

4.8 COMPOSIÇÃO MINERAL DA PASTAGEM NO SISTEMA SILVIPASTORIL

Os dados referentes a composição mineral da pastagem de capim-búfel, expressos em teores de P, K, Ca e Mg, são mostrados nas Figuras 11a e 11b, correspondendo às avaliações realizadas nos períodos seco e chuvoso, respectivamente.

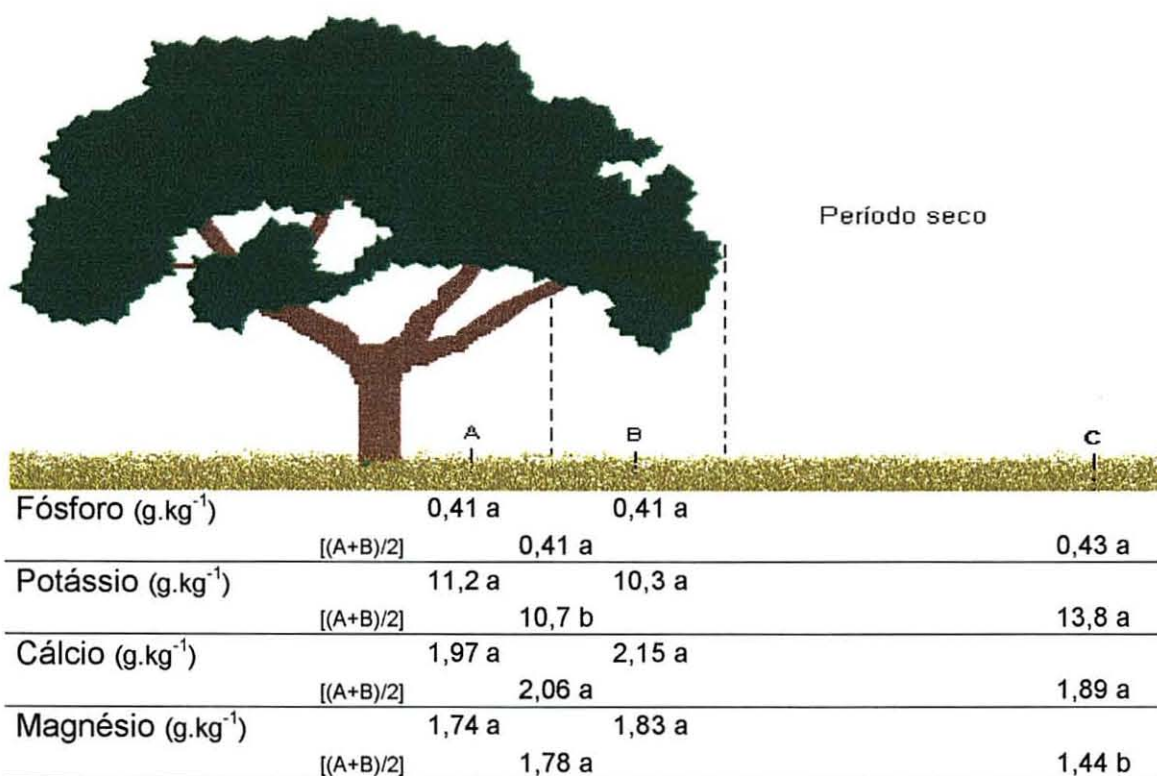
4.8.1 Fósforo na matéria seca do capim-búfel

No período seco (Figura 11a), não foram constatadas diferenças nos teores de fósforo encontrados na matéria seca do capim-búfel, tanto na presença quanto na ausência do componente arbóreo na pastagem. Entretanto, na época chuvosa (Figura 11b), a concentração média desse elemento ($0,24 \text{ g.kg}^{-1}$) obtida na forragem da gramínea produzida sob a copa das árvores $[(A+B)/2]$, foi menor e significativamente diferente daquela encontrada na pastagem de capim-búfel cultivado a pleno sol ($0,36 \text{ g.kg}^{-1}$).

Alguns autores fazem referência à ausência de efeitos da redução de luminosidade sobre os teores de fósforo nas plantas. SAMARAKOON et al. (1990 b), por exemplo, constataram que a redução da luminosidade ambiente em 50% não alterou os teores de fósforo em *Pennisetum clandestinum* e *Stenotaphrum secundatum*. Comportamento semelhante foi verificado por ERIKSEN & WHITNEY (1982) em ensaios com seis leguminosas forrageiras submetidas a quatro regimes artificiais de radiação (100, 70, 45 e 27%) e por SMITH & WHITEMAN (1983), ao cultivarem as gramíneas *Axonopus compressus*, *Brachiaria decumbens*, *B. humidicola*, *B. miliiformis*, *Dicanthium caricosum*, *Ischaemum aristatum*, *Paspalum conjugatum* e *Stenotaphrum secundatum* no sub-bosque de um coqueiral.

Segundo CLARK (1981), a luz não exerce efeito direto na absorção de nutrientes minerais pelas plantas, porém, através de diversos processos biológicos, como fotossíntese, transpiração, respiração e síntese de clorofila, pode provocar alterações significativas na sua composição mineral.

No entanto, JESCHKE (1976), através da realização de bioensaios, encontrou evidências de que a luz estimula a absorção de fósforo nas plantas. Este fato poderia explicar a redução dos teores desse nutriente na gramínea cultivada sob a copa das árvores, observada nesse estudo. Menores concentrações de P também foram encontradas por ENGEL & POGGIANI (1991) e CARVALHO (1996) trabalhando com mudas de essências florestais submetidas a diferentes níveis de sombreamento e por MAYLAND & GRUNES (1974) com as gramíneas *Agropyron desertorum* e *Elymus cinereus* sob 75% de sombreamento, apesar dessa redução atingir significância estatística somente na última espécie.



Letras diferentes na mesma linha, para cada parâmetro analisado, indicam haver diferença significativa entre médias, pelo Teste F, a 5% de probabilidade.

FIGURA 11a. Teores de macronutrientes na matéria seca do capim-búfel cultivado sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), obtidos na época seca (1997).

Por outro lado, uma parte considerável da literatura faz menção ao incremento dos teores de fósforo em herbáceas forrageiras com a redução da intensidade luminosa. O aumento da concentração de fósforo em diferentes espécies de gramíneas foi observado através de experiências feitas com sombreamento artificial, por BURTON et al. (1959), WOLTERS (1974), ERIKSEN & WHITNEY (1981) e CASTRO (1996), e, também, por McEWEN & DIETZ (1965), BELSKY, (1992) e CARVALHO et al. (1995), com gramíneas forrageiras cultivadas no sub-bosque de essências florestais.

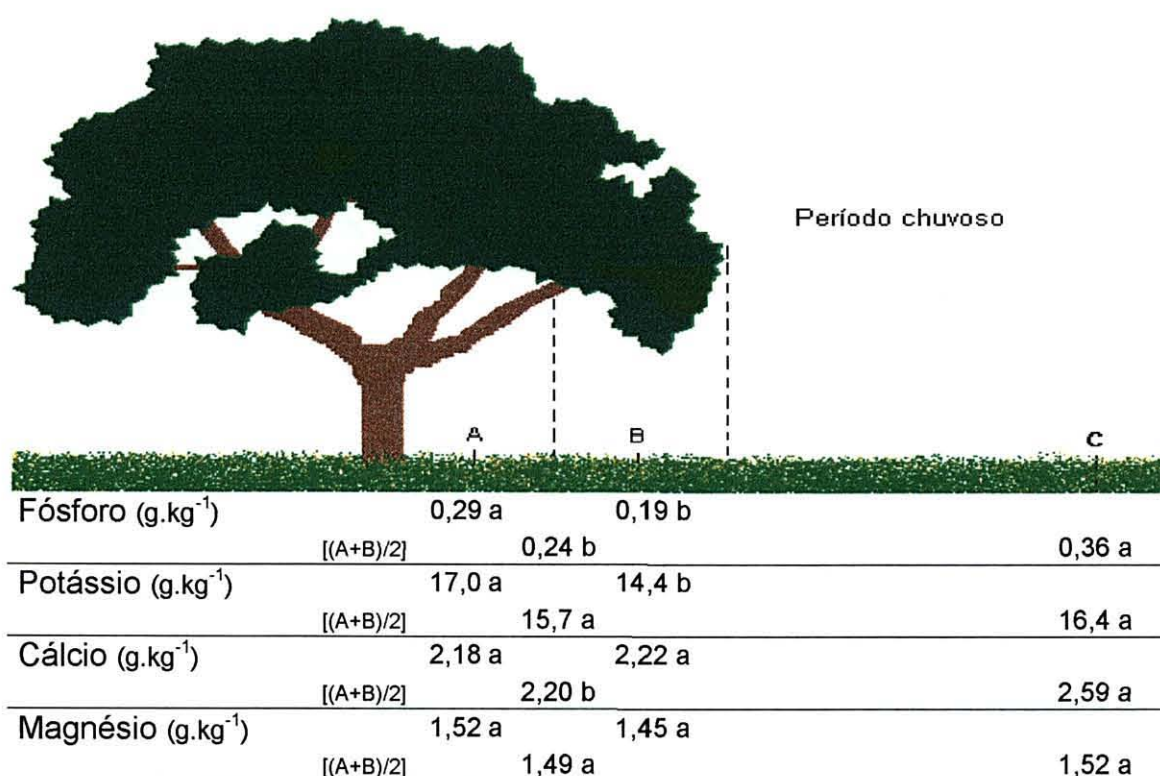
Na Figura 11b pode-se observar, ainda, diferença entre os teores de fósforo obtidos na pastagem cultivada sob a copa das árvores, considerando os pontos de amostragem A e B. Nota-se que a concentração de P foi significativamente maior na condição mais próxima ao fuste (ponto A), local que também recebia menor incidência luminosa (Figuras 8a e 8b). Dessa forma, a luz parece não ter sido o fator determinante para elevar a concentração de P na matéria seca da forragem da gramínea nessa condição.

Provavelmente o maior percentual de matéria orgânica e a maior concentração desse elemento no solo constatados nesses locais (Figuras 5b e 6b) tenham influenciado esse comportamento. Segundo BURESH & TIAN (1997) as árvores podem aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas associadas, pelo aumento da liberação desses nutrientes na matéria orgânica, a qual é normalmente mais alta na camada superficial dos solos debaixo de árvores (BREMEN & KESSLER, 1995 e YOUNG, 1997).

Por outro lado, produções sustentadas em sistemas silvipastoris desenvolvidos em solos que apresentam deficiência de P, como é o caso em particular da região estudada, requererão, sem dúvida, a introdução deste elemento de uma fonte externa, pois, a ciclagem de fósforo proveniente de materiais orgânicos nessas condições normalmente é insuficiente para satisfazer as exigências desse nutriente para as culturas (BURESH & TIAN, 1997).

Com relação aos aspectos de nutrição animal, os valores percentuais máximos de P obtidos na matéria seca forrageira do capim-búfel (0,04%)

estão muito aquém das necessidades dos bovinos criados na região. De acordo com ALBA (1961), a concentração mínima para atender às exigências de bovinos, em pastoreio, é de 0,15% de P na matéria seca. Enquanto que, ANDRIGUETO et al. (1986) sugerem, no tocante a novilhos em crescimento, teores variando de 0,18 a 0,31% desse nutriente na forragem.



Letras diferentes na mesma linha, para cada parâmetro analisado, indicam haver diferença significativa entre médias, pelo Teste F, a 5% de probabilidade.

FIGURA 11b. Teores de macronutrientes na matéria seca do capim-búfel cultivado sob a copa das árvores (pontos A e B) e na condição de monocultivo (ponto C), obtidos na época chuvosa (1998).

Outro aspecto importante que deve ser considerado no sistema silvipastoril, diz respeito à competição por água e nutrientes entre os dois componentes associados. Os menores teores de fósforo encontrados na matéria seca do capim-búfel cultivado próximo ao limite de projeção da copa da algaroba (ponto B), sugerem existir, nesse ponto, uma forte competição

entre a gramínea e a espécie florestal. Isto, provavelmente, em função da característica dos sistemas radiciais de cada planta. O sistema radicial da algaroba é predominantemente superficial (VALDÍVIA, 1982 e SILVA & LIMA, 1985) e a localização das raízes finas tendem a concentrar-se mais afastadas do fuste e mais próximas do ponto B (RIBASKI, 1987 e LIMA, 1988).

4.8.2 Potássio na matéria seca do capim-búfel

A análise de variância revelou efeitos significativos da presença das árvores sobre as concentrações de potássio na matéria seca da gramínea, nos dois períodos amostrados. Porém, o comportamento em relação a cada período foi diferenciado, no que diz respeito aos teores desse elemento.

No período seco (Figura 11a), houve um significativo decréscimo nos teores de K na pastagem cultivada sob o dossel da algaroba, mas não foram constatadas diferenças entre as concentrações desse nutriente na forragem obtida nos locais representados pelos pontos A e B.

Apesar da sensível diminuição dos teores de K na matéria seca disponível na parte aérea da gramínea cultivada sob a copa das árvores, esses valores (em torno de 1%) foram considerados satisfatórios em relação aos teores mínimos (0,60 a 0,80%) estabelecidos para o atendimento das necessidades dos animais em regime de pasto (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1976). Ou, ainda, 0,50% como limite crítico de potássio na dieta, sugerido por WARD (1966), ao realizar trabalhos de revisão sobre o metabolismo do potássio em ruminantes.

HUNT & BURNETT (1973), também registraram menores teores de potássio na fitomassa forrageira da gramínea *Lolium perenne*, após terem observado queda na absorção desse nutriente em resposta ao decréscimo da intensidade luminosa ambiente.

Todavia, CASTRO (1996) estudando a influência da luz sobre a composição química da forragem de seis gramíneas forrageiras, constatou decréscimo dos teores de potássio apenas em *Setaria sphacelata*, com a intensificação do sombreamento. Nas demais espécies (*Andropogon*

gayanus, *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *Melinis minutiflora* e *Panicum maximum*) observou comportamento inverso, ou seja, aumento na concentração de K, nas frações folha e caule das gramíneas.

Já no período chuvoso (Figura 11b), não foi encontrada diferença entre os teores médios de K obtidos na matéria seca da gramínea cultivada sob o dossel da algaroba [(A+B)/2] e aquela plantada a céu aberto (ponto C). Entretanto, houve variação nos teores desse elemento em relação ao ponto de amostragem realizada sob a copa das árvores. As concentrações de potássio foram significativamente menores na condição mais próxima à projeção da copa (ponto B).

SMITH & WHITEMAN (1983) estudando o comportamento de oito gramíneas forrageiras cultivadas à sombra de diferentes variedades de coqueiros não observaram alterações significativas nos teores de potássio em *Axonopus compressus*, *Brachiaria decumbens*, *B. humidicola*, *B. miliiformis*, *Dicanthium caricosum*, *Ischaemum aristatum*, *Paspalum conjugatum* e *Stenotaphrum secundatum*. Da mesma forma, SAMARAKOON et al. (1990 b), apesar de terem observado maiores teores desse nutriente em *Pennisetum clandestinum* e *Stenotaphrum secundatum*, quando cultivados sob 50% de sombreamento e comparados com o seu cultivo a céu aberto, também, não detectaram significância estatística nas diferenças entre tratamentos.

Por outro lado, a maioria dos resultados contidos na literatura mostram aumento nos níveis desse elemento na massa forrageira de várias espécies de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida, tanto em sombreamentos artificiais (MAYLAND & GRUNES, 1974 e ERIKSEN & WHITNEY, 1981) quanto por meio da associação com espécies florestais (BELSKI, 1992; CARVALHO et al., 1995 e CARVALHO, 1997). Sendo que, nestes dois últimos trabalhos, os autores sugerem que o aumento dos teores do K nas folhas das gramíneas, cultivadas à sombra de *Anadenanthera macrocarpa*, provavelmente, se devem ao menor rendimento de matéria seca que foi obtido em tal condição.

Acredita-se que às menores concentrações de potássio encontradas no capim cultivado nos locais representados pelo ponto B, sob a copa das

árvores, estejam relacionadas a um provável aumento no grau de competição entre as duas culturas, haja visto que, nesses mesmos locais, os teores desse nutriente no solo, também foram menores e significativamente diferentes das outras duas condições (Figura 6b)

4.8.3 Cálcio na matéria seca do capim-búfel

Na época seca, não se verificou influência das árvores sobre os teores de cálcio na pastagem de capim-búfel (Figura 11a). Porém, no período chuvoso, ocorreu um decréscimo significativo da concentração desse nutriente na matéria seca da gramínea na presença da algaroba (Figura 11b).

Não foram constatadas diferenças entre os dois pontos de amostragem sob a copa das árvores (A e B), em relação aos teores de Ca, tanto no período seco quanto no chuvoso.

Resultados obtidos por ERIKSEN & WHITNEY (1982), em ensaio com leguminosas forrageiras, e por SAMARAKOON et al. (1990 b), com *Pennisetum clandestinum* e *Stenotaphrum secundatum*, também não mostraram diferenças entre as concentrações de cálcio em plantas cultivadas à sombra e ao sol. Enquanto que, na cultura de milho (*Zea mays*), a redução da intensidade luminosa em 60%, promoveu queda na concentração de cálcio (STRUICK, 1983).

Entretanto, a literatura também revela resultados divergentes dos anteriores mencionados. CASTRO (1996), por exemplo, trabalhando com seis gramíneas forrageiras encontrou tendência geral de aumento dos teores de cálcio nas diferentes frações das plantas (caule e folha) com o declínio da luminosidade, concordando com o exposto por outros autores em relação à plantas submetidas diferentes níveis de sombreamento artificial (BURTON et al., 1959; MAYLAND & GRUNES, 1974; WOLTERS, 1974 e ERIKSEN & WHITNEY, 1981). Ou ainda, quando associadas à espécies florestais, por exemplo, *Pinus ponderosa* (McEWEN & DIETZ, 1965), *Acacia tortilis* e *Adansonia digitata* (BELSKY, 1992).

4.8.4 Magnésio na matéria seca do capim-búfel

Na Figura 11a, pode-se perceber um aumento significativo dos teores de magnésio na pastagem produzida sob a copa da algaroba, durante a estação seca, em comparação com a situação de monocultivo. Na mesma figura, pode-se observar, também, que não houve diferença na concentração desse nutriente na fitomassa forrageira das gramíneas cultivadas nos locais representados pelos pontos A e B.

ERIKSEN & WHITNEY (1981) observaram que um sombreamento artificial de 73% resultou em elevação altamente significativa dos teores de Mg nas gramíneas *Brachiaria miliiformis*, *Digitaria decumbens* e *Panicum maximum*. Esse mesmo efeito da sombra sobre a concentração de magnésio também foi verificado por BURTON et al. (1959) em ensaios envolvendo o sombreamento de *Cynodon dactylon*.

O incremento progressivo dos teores de magnésio na fitomassa de diferentes espécies herbáceas forrageiras, em resposta à redução gradativa da intensidade luminosa, parece ser uma tendência geral de comportamento nessas condições, tendo sido também observada nas gramíneas *Agropyron desertorum* e *Elymus cinereus* (MAYLAND & GRUNES, 1974) e nas leguminosas *Centrosema pubescens*, *Desmodium intortum* e *Macroptilium atropurpureum* (ERIKSEN & WHITNEY, 1982).

CASTRO (1996) sugere, que esse aumento de concentração de Mg, também observado nas folhas de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *Panicum maximum* e *Setaria sphacelata*, pode estar relacionado com a quantidade de clorofila que normalmente é maior nas plantas sombreadas, uma vez que o magnésio é um dos elementos que compõe a sua molécula. Os dados obtidos no presente estudo parecem condizentes com as hipóteses de CASTRO (1996), haja visto que o capim-búfel cultivado sob a copa das árvores apresentou maiores concentrações de clorofila do que quando foi mais exposto à radiação solar, na condição de monocultivo (Figura 7).

No período chuvoso (Figura 11b) não se verificou a mesma tendência da época seca, não ocorrendo diferença entre as concentrações de Mg na matéria seca da gramínea nas diferentes condições testadas. Essa indiferença dos níveis desse nutriente à intensidade luminosa, encontra respaldo nos resultados obtidos por SAMARAKOON et al. (1990 b), cuja concentração em *P. clandestinum* e *Stenotaphrum secundatum* não foi afetada pelo sombreamento e, também, por CASTRO (1996), quando os teores de magnésio se mantiveram aproximadamente constantes e indiferentes ao declínio da luminosidade ambiente, em ambas as frações das plantas (folha e caule) de *Melinis minutiflora*,.

O magnésio além de ser um dos elementos essenciais para as reações fotoquímicas e metabólicas das plantas, é, também, de grande importância para os ruminantes e sua deficiência ou baixa disponibilidade provoca uma desordem nutricional denominada tetania (CASTRO, 1996). Os teores de Mg encontrados no capim-búfel nesse estudo, mínimo de 0,14% no monocultivo e máximo de 0,18% sob a copa da algaroba (Figura 11a), são considerados satisfatórios, pois atendem plenamente a exigência nutricional para novilhos de corte em crescimento, a qual, segundo as recomendações do NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1976), é de 0,05 a 0,25% de Mg na matéria seca das plantas.

5 CONCLUSÕES

O sistema silvipastoril composto pelo capim-búfel (*Cenchrus ciliaris*) e pela algaroba (*Prosopis juliflora*) mostrou-se potencialmente viável, devido à importância dessa leguminosa arbórea para a região semi-árida brasileira como produtora de madeira e forragem para suplementação alimentar nas épocas secas e, principalmente, em função dos aspectos benéficos resultantes da sua influência sobre o ambiente e a pastagem associada, expostos a seguir:

1. O sombreamento proporcionado pela algaroba no sistema silvipastoril promoveu melhoria das condições ambientais, amenizando a temperatura do ar e a temperatura das folhas do capim-búfel, além de conservar melhor a umidade do solo;
2. A presença da leguminosa arbórea na pastagem de capim-búfel contribuiu para melhorar a fertilidade do solo, por meio do incremento dos teores de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo no solo, particularmente, nos locais mais próximos do fuste das árvores.
3. O capim-búfel apresentou maior eficiência fotossintética nas condições de menor luminosidade, provavelmente em função dos maiores conteúdos de clorofila, principalmente do tipo *b*, maior área específica foliar e maiores teores de nitrogênio nas folhas;
4. A forragem produzida sob a copa das árvores apresentou melhor valor nutritivo, caracterizado, principalmente pelos maiores teores de proteína bruta, embora, o capim-búfel tenha produzido menor quantidade de matéria seca nessa condição;

5. O aumento da digestibilidade “in vitro” da matéria seca do capim-búfel, verificado na condição mais próxima do fuste das árvores, no período chuvoso, aparentemente foi favorecido pelos maiores teores de proteína bruta, reflexo do incremento de N total na fitomassa da gramínea;
6. A exceção de fósforo, os teores dos macronutrientes encontrados na forragem do capim-búfel, produzida sob a copa da algaroba, atendem satisfatoriamente as exigências nutricionais de bovinos de corte, mesmo tendo ocorrido decréscimo nas concentrações de potássio e cálcio, no período chuvoso.

6 RECOMENDAÇÕES

Como estudos complementares, objetivando dar continuidade e aprofundamento ao trabalho de avaliação desse sistema silvipastoril, recomenda-se as seguintes ações de pesquisa:

- estudar o aporte de serapilheira da algaroba ao solo, visando verificar qual a sua contribuição para as alterações nas características químicas do solo;
- Introduzir o componente animal no sistema, procurando verificar o seu desempenho, em termos de ganho de peso, comparativamente à uma pastagem não arborizada;
- Monitorar as variáveis por um período maior de tempo, visando dar mais consistência aos resultados e permitir uma análise econômica do sistema proposto.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, M.C. Leaf structure and photosynthetic pigment characteristics of three gallery-forest hardwood species in Northeast Kansas. **Forest Ecology and Management**, v.22, p.261-266, 1987.
- AHAMED, P. Agroforestry: a viable land use of alkali soils. **Agroforestry Systems**, v.14, n.1, p.23-37, 1991.
- ALBA, J. de. Carências minerais do animal que vive de pastoreio. In: INSTITUTO DE ZOOTECNIA (São Paulo). **Fundamentos de manejo de pastagens**. São Paulo: Departamento de Produção Animal, 1961. p.157-168.
- ALBRECHT, J.M.F.; MOREIRA, I.P.S. Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre a produção de mudas de cambará (*Vochysia divergens*). In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (6.: 1990: Campos do Jordão). **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v.3, p.574-575.
- ALCEDO, G.E.C. Evaluation of flour from *Prosopis juliflora* and *Prosopis pallida* pods in bakery and extrusion-cooking products. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2.: 1986: Recife). **The current state of knowledge on *Prosopis juliflora***. Rome: FAO, 1988. p.425-442.
- ALMEIDA, G.F. **Noções práticas sobre alimentação e manejo de pastagens para ruminantes**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1995. 14p.
- ALPÍZAR, L. Resultados del "experimento central" del CATIE: Asociaciones de pastos y arboles de sombra. In: BEER, J.W.; FASSBENDER, H.W.; HEUVELDOP, J. (Eds) **Avances en la investigacion agroforestal**, Turrialba: CATIE, 1985, p.237-243.
- ALVES, A.Q. Competição de gramíneas. In: BRASIL. Ministério do Interior. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Pesquisa e experimentação em área seca: Fazenda Pendência: relatório Anual**. 1974. Recife, 1974. p.23-27.
- ALVES, A.Q. Algaroba, uma experiência válida. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROBA (1.: 1982: Natal). **Anais...** Natal: EMPARN, 1982. p.307-318. (EMPARN. Documentos, 7).
- AMARAL, E. A algarobeira como planta apícola. **Revista Brasileira de Algaroba**. v.1, n.1, p.97-110, 1987.

- AMORIM NETO, M.S. **Informações meteorológicas dos campos experimentais de Bebedouro e Mandacarú**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1985. 51p.
- ANDERSON, G.W.; MOORE, R.W. Production in the first seven years of a *Pinus radiata* - annual pasture agroforest in western Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.27, n.2, p.231-238, 1987.
- ANDRIGUETO, J.M.; GEMAEL, A.; SOUZA, G.A.; MINARDI, I.; FLEMMING, J.S.; PERLY, L.; FLEMMING, R.; VINNE, J.J. **Normas e padrões de nutrição e alimentação animal, revisão 85/86**. Curitiba: Ed. Publicitária, 1986. 163p.
- ARIAS, R. **Experiencias sobre agroforestería para la producción animal en Guatemala**. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en latinoamérica, 1998. 9p. FAO AGROFOR1: Artículo #22: Arias. Enviado por Mauricio Rosales: mauro arroba cipav.org.co., em 03 fev. 1999.
- ARRUDA, G.P. de; ARRUDA, E.C. de; SANTOS, A.B.R. dos; HOLANDA, A.C.A. Entomological observations: Sawyers and Borers (Coleoptera, Cerambycidae) of *P. juliflora*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2.: 1986: Recife). **The current state of knowledge on *Prosopis juliflora***. Rome: FAO, 1988. p. 327-333.
- AUSTENSON, H.M. Influence of time of harvest on yield of dry matter and predicted digestibility of four forage grasses. **Agronomy Journal**, v.55, n.2, p.149-153, 1963.
- AWAD, M.; CASTRO, P.R.C. **Introdução à fisiologia vegetal**. São Paulo: Nobel, 1983. 177p.
- AYERSA, R. **El buffel grass: utilidad y manejo de una promisorio gramínea**. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1981. 139 p.
- AYERSA, R.; DÍAZ, R.; KARLIN, U. Management of *Prosopis* in livestock production systems the dry Chaco, Argentina. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS, 2, Recife, PE., 1986. **The current state of knowledge on *Prosopis juliflora***. Rome: FAO, 1988. p.479-494.
- AZEVEDO, G. de. **Algaroba**. Natal: [s.n], 1955. 13 p.
- AZEVEDO, G. **Algaroba**. Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola, 1961. 31p. (SIA, 843).
- AZEVEDO, C.F. de. Algarobeira na alimentação animal e humana: In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGARROBA (1.: 1982: Natal). **Anais...** Natal: EMPARN, 1982 a, p.283-299. (EMPARN. Documentos, 7).

- AZEVEDO, G.F. de. Como e porque a algarobeira foi introduzida no Nordeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROBIA (1.: 1982: Natal). **Anais...** Natal: EMPARN, 1982 b, p.300-306. (EMPARN, Documentos, 7) .
- BARBOSA, J.O.; GURGEL GARRIDO, L.M.A. Consorciação de pastagem em povoamentos de *Pinus*. **Revista do Instituto Florestal**, v.2, n.3, p.171-184, 1990.
- BARDEN, J.A. Apple leaves, their morphology and photosynthetic potential. **HortScience**, v.13, n.5, p.644-646, 1978.
- BARNES, J.D.; BALAGUER, L.; MANRIQUE, E.; ELVIRA, S.; DAVISON, A.W. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.32, n.2, p.85-100, 1992.
- BARROS, N.F. de. **Solos de ecossistemas florestais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1984. 75p.
- BAZZAZ, F.A. The physiological ecology of plant succession. **Annual review of ecology and systematics**. Palo Alto, v.10, p.351-371, 1979.
- BEATTY, R. Planning guidelines for urban forest management. In: HALL, D.O., MYERS, N. and MAGARIS, N.S. (Eds). **Economics of ecosystem management**. Dordrecht: W. Junk Publ., 1985. p.165-173.
- BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, v.38, n.1-3, p.139-164, 1997.
- BELLOTE, A.F.J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden) em função da idade**. Piracicaba, 1979, 129p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ/USP.
- BELSKY, A.J. Effects of trees on nutritional quality of understory gramineous forage in tropical savannas. **Tropical Grasslands**, v.26, n.1, p.12-20, 1992.
- BELSKI, A.J.; MWONGA, S.M.; DUXBURY, J.M. Effects of widely spaced trees and live-stock grazing on understory environments in tropical savannas. **Agroforestry Systems**, v.24, n.1, p.1-20, 1993.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

- BERGEZ, J.E.; DALZIEL, A.J.I.; DULLER, C.; EASON, W.R.; HOPPE, G.; LAVENDER, R.H. Light modification in a developing silvopastoral system in the UK: a quantitative analysis. **Agroforestry Systems**, v.37, n.3, p.227-240, 1997.
- BHATT, R.K.; MISRA, L.P.; PATHAK, P.S. Transpiration and stomatal conductance of grass species under *Leucaena* based silvopastoral system. **Range Management and Agroforestry**, v.15, n.1, p.87-92, 1994.
- BHOJVAID, P.P.; TIMMER, V.R. Reclaiming sodic soils for wheat production by *Prosopis juliflora* (Swartz) DC afforestation in India. **Agroforestry Systems**, v.34, n.2, p.139-150, 1996.
- BHOJVAID, P.P.; TIMMER, V.R. Soil dynamics in age sequence of *Prosopis juliflora* planted for sodic soil restoration in India. **Forest Ecology and Management**, v.106, n.2-3, p.181-193, 1998.
- BJÖRKMAN, O. Responses to different quantum flux densities. In: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B.; ZIEGLER, H. (Eds.). **I. Encyclopedia of plant physiology**, Physiological plant ecology. Berlin: Springer Verlag, 1981. p.57-107.
- BOARDMAN, N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, n.28, p.335-377, 1977.
- BORGES, M.; ANDRADE, T.J.; JANKOWSKI, A.; FERREIRA, E.B.; INOUE, M.T. Pigmentos foliares em *Tabebuia alba* e *Pittosporum undulatum* como bioindicadores da poluição urbana. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.4, p.778-781, 1992.
- BOTERO, R.; RUSSO, R.O. **Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales**. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en latinoamérica, 1998. 22p. FAO AGROFOR1: Artículo #8: Botero y Russo. Enviado por Mauricio Rosales: mauro arroba cipav.org.co., em 03 fev. 1999.
- BOURDEAU, P.F. Relation between growth and unit rate of photosynthesis. In: NORTHEASTERN FOREST TREE IMPROVEMENT CONFERENCE, 5. Orono, 1957. **Proceedings...** Orono: [S.N], 1958. p.58-62.
- BOWEN, G.D. Tree roots and the use of soil nutrients. Academic Press London. **Nutrition of Plantation Forests**, 1984. p.147-179.

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Recife: Ministério da Agricultura-DNPEA / SUDENE-DRN, 1973. 2v. (Boletim Técnico, 26; Série Pedologia, 14).
- BREMAN, H.; KESSLER, J.J. **Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions**. Berlim: Springer-Verlag, 1995.
- BRONSTEIN, G.E. **Producción comparada de una pastura de *Cynodon nlemfuensis* asociada con árboles de *Cordia alliodora*, con árboles de *Erythrina poeppigiana* y sin árboles**. Turrialba, 1984, 110p. Dissertação (Mestrado) - UCR/CATIE.
- BUDOWSKI, G. The development of agroforestry in Central America. In: STEPPLER, H.A. and NAIR, P.K.R. (Eds.) **Agroforestry: a decade of development**, Nairobi: ICRAF, 1987. p.69-88.
- BUDOWSKI, G.; KASS, D.C.L.; RUSSO, R.O. Leguminous trees for shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.2, p.205-222, 1984.
- BURESH, R.J.; TIAN, G. Soil improvement by in sub-Saharan Africa. **Agroforestry Systems**, v.38, n.1-3, p.51-76, 1997.
- BURGOS, N; CAVALCANTI, A.C. **Levantamento detalhado dos solos da área de sequeiro do CPATSA, Petrolina - PE**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS / EMBRAPA-CPATSA, 1990. 365p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 38).
- BURKART, A.A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). **Journal of the Arnold Arboretum**, v. 57, n.3, p.219-249, 1976 a.
- BURKART, A.A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). **Journal of the Arnold Arboretum**, v. 57, n.4, p.450-525, 1976 b.
- BURTON, G.W.; JACKSON, J.E.; KNOX, F.E. The influence of light reduction upon the production, persistence and chemical composition of coastal bermudagrass, *Cynodon dactylon*. **Agronomy Journal**, v.51, n.9, p.537-542, 1959.
- BUSTAMANTE, J.; IBRAHIM, M.; BEER, J. Evaluación agronómica de ocho gramíneas mejoradas en un sistema silvopastoril con poró (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Turrialba. **Agroforestería en las Américas**, v.5, n.19, p.11-16, 1998.

- CAMARGO, P.N. **Princípios da nutrição foliar**. São Paulo: ESALQ / Agronomica Ceres, 1970.
- CAMPBELL, B.M.; FROST, P.; KING, J.A.; MAWANZA, M.; MHLANGA, L. The influence of trees on soil fertility on two contrasting semi-arid soil types at Matopos, Zimbabwe. **Agroforestry Systems**, v.28, p.159-172, 1994.
- CARNEIRO, C.M.R. Considerações sobre sistemas agrosilvipastoris com ênfase à Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Algaroba**, v.1, n.1, p.165-185, 1987
- CARNEIRO, J.G. de A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR / FUPEF; Campos: UENF, 1995. 451p.
- CARTER, E.J. El potencial de la silvicultura urbana en los países en desarrollo: conceptos. Santiago: FAO, 1996.
- CARVALHO, M. Asociaciones de pasturas con árboles en la región centro sur del Brasil. **Agroforestería en las Américas**, v.4, n.15, p.5-8, 1997.
- CARVALHO, M.B. de; CARVALHO, E.P. de; ARRUDA, G.P. de. O "serrador": praga da algarobeira, Recife: IPA, 1968. 26p. (IPA. Boletim Técnico,.33).
- CARVALHO, M.; FREITAS, V.P.; ANDRADE, A.C. Crescimento inicial de cinco gramíneas tropicais em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). **Pasturas Tropicales**, v.17, n.1, p.24-30, 1995.
- CARVALHO, M.C.; SILVA, J.L.O. da; CAMPOS JUNIOR, B. de A. Produção de matéria seca e composição mineral da forragem de seis gramíneas tropicais estabelecidas em um sub-bosque de angico-vermelho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.2, p.213-218, 1997.
- CARVALHO, P.E.R. **Influência da intensidade luminosa e do substrato no crescimento, no conteúdo de clorofila e na fotossíntese de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. *Calophyllum brasiliense* Camb. e *Centrolobium robustum* (Vell.) Mart. ex Benth., na fase juvenil**. Curitiba, 1996, 157p. Tese (Doutorado) - Escola de Florestas - Universidade Federal do Paraná.
- CASTRO, R.T.C. **Tolerância de gramíneas forrageiras tropicais ao sombreamento**. Viçosa, 1996, 247p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

- CASTRO, C.R.; CARVALHO, M.M.; GARCIA, R.; COUTO, L. Efeito do sombreamento artificial sobre o valor nutritivo de seis gramíneas forrageiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS (2.: 1998: Belém). No contexto da qualidade ambiental e competitividade: **Resumos expandidos**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1998. p.198-200.
- CLARK, R.B. Effect of light and water stress on mineral element composition of plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.3, n.5, p.853-885, 1981.
- CESTARO, L.A. Estudo microclimático do interior de uma mata de araucária na Estação Ecológica de Aracuri, Esmeralda, RS. **Revista Árvore**, v.12, n.1, p.41-57, 1988.
- COOMBS, J.; HALL, D.O. **Techniques in bioproductivity and photosynthesis**. Oxford: Pergamon Press, 1982. 191p.
- COOPER, J.P.; TANTON, N.M. Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. **Herbage Abstracts**, v.38, n.2, p.167-176, 1968.
- CRUZ, P. Effect of shade on the growth and mineral nutrition of a C4 perennial grass under field conditions. **Plant and Soil**, v.188, n.2, p.227-237, 1997.
- CRUZ, P.; TOURNEBIZE, R.; GAUDICHAU, C.; HAEGELIN, A.; MUNIER, N.M. Effect of shade on growth, nitrogen content and CO₂ leaf assimilation in a tropical perennial grass. In: INTERNATIONAL MEETING - ECOPHYSIOLOGY OF TROPICAL INTERCROPPING, 1994, Guadeloupe. **Proceedings...** Paris: INRA, 1995. p.285-293.
- CUNNINGHAM, R.K.; NIELSEN, K.F. Cation-anion relationships in crop nutrition. V. The effects of soil temperature light intensity and soil-water tension. **Journal of Agriculture Science**, v.64, n.3, p.379-386, 1965.
- DACCARETT, M.; BLYDENSTEIN, J. La influencia de árboles leguminosos y no leguminosos sobre el forraje que crece bajo ellos. **Turrialba**, v.18, n.3, p.405-408, 1968.
- DANIEL, O.; COUTO, L. **Una visión general de sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles con eucalipto en Brasil**. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en latinoamérica, 1998, 15p. FAO AGROFOR1: Artículo #21: Daniel y Couto. Enviado por Mauricio Rosales: mauro arroba cipav.org.co., em 03 fev. 1999.
- DANTAS, J.R.A. **Mapa geológico do Estado de Pernambuco**. Recife: DNPM, 1980. 112p. 2 mapas color. Escala 1:500.000.

- DENSLOW, J.S. Gap partitioning among tropical rain forest trees. **Biotropica**. Fairfax, v.12, p.47-55, 1980.
- DEPOMMIER, D.; JANODET, E.; OLIVER, R. *Faidherbia albida* parks and their influence on soils and crops at Watinoma, Burkina Faso. In: VANDENBELDT, R.J (Ed.) ***Faidherbia albida* in the West African Semi-arid Tropics**. ICRISAT, 1992. p.111-116.
- DONG, M.; KROON, H. Plasticity in morphology and biomass allocation in *Cynodon dactylon*, a grass species forming stolons and rhizomes. **Oikos**, v.70, n.1, p.99-106, 1994.
- DRUMOND, M.A. Foliar analysis of species of the genus *Prosopis* in the brazilian semi-arid region. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2.: 1996: Recife). **The current state of knowledge on *Prosopis juliflora***. Rome: FAO, 1988. p.307-310.
- DRUMOND, M.A.; PIRES, I.E.; BRITO, J.O. Algarobeira: uma alternativa para preservar as espécies nativas do Nordeste semi-árido. **Silvicultura**, v.37, p.51-52, 1984.
- EAGLES, C.F. Effect of light intensity on growth of natural populations of *Dactylis glomerata* L. **Annals of Botany**, v.37, n.150, p.253-262, 1973.
- EGUNJOBI, J.K.; BADA, S.O. Biomass and nutrient distribution in stands of *Pinus caribaea* L. in the dry forest zone of Nigeria. **Biotropica**, v.11, p.130-135, 1979.
- EHRENREICH, J.H., CROSBY, J.S. Herbage production is related to hardwood crown cover. **Journal of Forestry**, v.58, n.4, p. 564-565, 1958.
- EL-FADL, M.A. **Management of *Prosopis juliflora* for use in agroforestry systems in the Sudan**. Helsinki: University of Helsinki, Department of Forest Ecology, 1997, 107p. (Tropical Forestry Reports, 16).
- EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DA PARAÍBA. **O capim buffel e seu consórcio com leguminosas nativas**. João Pessoa: EMATER-PB, 1979. 25p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido. **Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, 1977-1978**. Brasília: EMBRAPA-DID, 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análises de solo**. 2.ed. rev.atual. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- ENGEL, V.L. **Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de essências nativas, concentração de clorofila nas folhas e aspectos de anatomia**. Piracicaba, 1989, 202p. Tese (Mestrado) - ESALQ/USP.
- ENGEL, V.L.; POGGIANI, F. Estado nutricional de folhas de mudas de essências nativas em função de diferentes graus de sombreamento. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (6.: 1990: Campos de Jordão). **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1991. v.2, p.76.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro, Livro Técnico Científico, 1975. 341p.
- ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. I. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. **Agronomy Journal**, v.73, n.3, p.427-433, 1981.
- ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. Growth and N fixation of some tropical forage legumes as influenced by solar radiation regimes. **Agronomy Journal**, v.74, n.5, p.703-709, 1982.
- ESQUIVEL, J.; IBRAHIM, M.; JIMÉNEZ, F.; PEZO, D. Distribución de nutrientes en el suelo en asociaciones de poró (*Erythrina berteroana*), madero negro (*Gliricidia sepium*) o *Arachis pinto*i con *Brachiaria brizantha*. **Agroforestería en las Américas**, v.5, n.17-18, p.39-43, 1998.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina**, 2. ed. San Jose: IICA, 1994. 421p.
- FELKER, P. Seleção de genótipos de *Prosopis* para a produção de vagens e de combustível de madeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGARROBA (1.: 1982: Natal). **Anais...** Natal: EMPARN. v.2, p.7-24, 1982.
- FERREYRA, R. **Estudio sistematico de los algarrobos de la costa norte del Peru**. Lima: CONCYTEC/CIID, 1987. 31p.
- FIGUEIREDO, A. de A. Industrialização das vagens de algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC) visando a produção da goma da semente. **Revista da Associação Brasileira de Algaroba**, v.1, n.1, p.7-34, 1987.

- FLEISCHER, J. E.; MASUDA, Y.; GOTO, I. The effect of light intensity on the productivity and nutritive value of green panic (*Panicum maximum* var. Trichoglume cv. Petrie). **Journal of Japanese Grassland Science**, v.30, n.2, p.191-194, 1984.
- FLORES, R.F. Sistemas agrícolas de producción de café en México. In: TALLER SISTEMAS AGRO-FORESTALES EN AMERICA LATINA (1979: Turrialba). **Actas...** Turrialba: CATIE, 1979. p.62-69.
- FRANCO, A.A. Fixação de N₂ atmosférico em *Prosopis juliflora* (SW) D.C. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROBA (1.: 1982: Natal). **Anais...** Natal: EMPARN, 1982. p.319-329. (EMPARN. Documentos, 7).
- FRANCO, A.A.; FARIA, S.M.; MOREIRA, V.C.G.; MONTEIRO, E.M.S. Nodulation and nitrogen fixation in *Prosopis juliflora* (SW) DC. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2.: 1986: Recife). **The current state of knowledge on *Prosopis juliflora***. Rome: FAO, 1988, p. 299-306.
- FREIRE, L.C.; ALBUQUERQUE, S.G. de; SOARES, J.G.G.; SALVIANO, L.M.C.; OLIVEIRA, M.C. de; GUIMARÃES FILHO, C. **Alguns aspectos econômicos sobre a implantação e utilização de capim buffel em áreas de caatinga**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1982, 16p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 9).
- FREIRES, F.E. de B. & DRUMOND, M.A. Efeito do Sombreamento na Produção de Mudas de Algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.). **Revista da Associação Brasileira de Algaroba**. v.1, n.2, p.228-249, 1987.
- FRIENDSHIP-KELLER, R.A.; TSUJITA, M.J.; ORMROD, D.P. Light acclimatization effects on japanese maple for interior use. **HortScience**, v.22, n.5, p.929-931, 1987.
- GALVÃO, A.P.M.; LIMA P.C.F. Considerações sobre as pesquisas com algaroba, desenvolvidas pelo Programa Nacional de Pesquisa Florestal no Nordeste. **Revista da Associação Brasileira de Algaroba**. v.1, n.2, p.111-132, 1987.
- GARG, V.K. Interaction of tree crops with a sodic soil environment: potential for rehabilitation of degraded environments. **Land Degradation and Development**, v.9, n.1, p.81-93, 1998.
- GARG, V.K.; JAIN, R.K. Influence of fuelwood trees on sodic soils. **Canadian Journal of Forest Research**, v.22, n.5, p.729-735, 1992.

- GARRITY, D.P.; MERCADO, A.R. Reforestation through agroforestry: smallholder market-driven timber production on the frontier. In: RAIN TREE, J.; FERNANDEZ, H. (Eds.) **Marketing multipurpose tree species in Asia**. Bangkok: Winrock International, 1994. p.14-16.
- GIRALDO, L.A. **Potencial de la arbórea guácimo (*Guazuma ulmifolia*), como componente forrajero en sistemas silvopastoriles**. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en latinoamérica, 1998. 14p. FAO AGROFOR1: Artículo #13: Giraldo. Enviado por Mauricio Rosales: mauro arroba cipav.org.co., em 03 fev. 1999.
- GIRALDO, L.A.; BOTERO, J.; SILDARRIEAGA, J.; DAVID, P. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural, en la región atlántica de Colombia et al. **Agroforestería en las Américas**, año 2, n.8, p.14-19, 1995.
- GISLEROD, H.R., NELSON, P.V. The interaction of relative air humidity and carbon dioxide enrichment in the growth of *Chrysanthemum X morifolium* Ramat. **Scientia Horticulturae**, v.38, n.3, p.305-313, 1989.
- GOLFARI, L.; CASER, R.L. **Zoneamento ecologico da regio Nordeste para experimentacao florestal**. Belo Horizonte: IBDF, 1977. 116p. (PRODEPEF. Serie técnica, 10)
- GOMES, P.A. **A algarobeira**. Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola, 1961. 40p. (SIA, 865).
- GOOR, A.Y. **Metodos de plantación forestal en zonas aridas**. Roma: FAO, 1964. 154p. (FAO. Cuadernos de fomento forestal, 16).
- GOOR, A.Y.; BARNEY, C.W. **Forest tree planting in arid zone**. 2.ed. New York: The Ronald, 1976. 504p.
- GORDON, C.H.; DECKER, A.M.; WISEMAN, H.G. Some effects of nitrogen fertilizer, maturity and light on the composition of orchardgrass. **Agronomy Journal**, v.54, n.5, p.376-378, 1962.
- GRAÇA, M.E.C. **Influence of light intensity on growth nodulation nitrogen fixation of selected woody actinorhizal species**. [S.l.], 1983, 109p. Tese (Doutorado) - Purdue University.
- GURBACHAN, S.; GILL, H.S.; ABROL, I.P.; CHEEMA, S.S.; SINGH, G. Forage yield, mineral composition, nutrient cycling and ameliorating effects of Karnal grass (*Leptochloa fusca*) grown with mesquite (*Prosopis juliflora*) in a highly alkaline soil. **Field Crops Research**, v.26, n.1, p.45-55, 1991

- GURBACHAN, S.; GIL, H.S.; SINGH, G. Ameliorative effect of tree species on characteristics of sodic soils at Karnal. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.62, n.2, p.144-146, 1992.
- HABIT, M.A. *Prosopis tamarugo*: arbuste fourrages pour zone arides. In: FAO. Programme régional pour la production d'aliments de base bureau régional pour l'amérique latine. Roma: FAO / DANIDA, 1981. p.116.
- HAGGAR, J.P.; WARREN, G.P.; BEER, J.W.; KASS, D. Phosphorus availability under alley cropping and mulched and unmulched sole cropping systems in Costa Rica. **Plant and Soil**, v.137, p.275-283, 1991.
- HALE, M.G.; ORCUTT, D.M. **The physiology of plants under stress**. New York: John Willey & Sons, 1987.
- HANG, S.; MAZZARINO, M.J.; NUÑEZ, G.; OLIVA, L. Influencia del desmonte selectivo sobre la disponibilidad de nitrógeno en años húmedos y secos en sistemas silvopastoriles en el Chaco argentino. **Agroforestería en las Américas**, ano 2, n.6, p.9-14, 1995.
- HARTEMINK, A.E; BURESH, R.J.; JAMA, B.; JANSSEN, B.H. Soil nitrate and water dynamics in sesbania fallow, weed fallows, and maize. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p.568-574, 1996.
- HAWLEY, J.G., DYMOND, J.R. How much do trees reduce landsliding? **Journal of Soil and Water Conservation**, v.43, n.3, p.495-498, 1988.
- HEATH, O.V.S. **Physiologie der photosynthese**. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. 1972. 314p.
- HERNÁNDEZ, I.; MILERA, M.; SIMÓN, L.; HERNÁNDEZ, D.; IGLESIAS, J.; LAMELA, L.; TORAL, O.; MATÍAS, C.; FRANCISCO, G. **Avances en las investigaciones en sistemas silvopastoriles en Cuba**. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en latinoamérica, 1998. 14p. FAO AGROFOR1: Artículo #4: Hernández et al. Enviado por Mauricio Rosales: mauro arroba cipav.org.co., em 03 fev. 1999.
- HOUGHTON, D. Trees and erosion control. **Queensland Agriculture Journal**, v.110, n.1, p.9-12, 1984.
- HUMPHREYS, L.R. **A guide to better pastures for the tropics and subtropics**. 4.ed. rev. Ermington: W. Stepeson, 1980. 96p.
- HUNT, R.; BURNETT, J.A. The effects of light intensity and external potassium level on root/shoot ratio and rates of potassium uptake in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Annals of Botany**, v.37, n.151, p.519-537, 1973.

- IBDF. Delegacia Estadual do Rio Grande do Norte. **Plano de manejo florestal para a região do Seridó do Rio Grande do Norte**. Natal, 1988. (Projeto PNUD/FAO/IBSF/BRA/87/007).
- IBGE. Diretoria de Geociências. **Manual técnico da vegetação brasileira**, Rio de Janeiro, 1992. (IBGE. Série manuais técnicos em geociências)., 1).
- IGBOANUGO, A.B.I. Adaptation to changes in illumination of chloroplast structure, chlorophyll content and light transmission of mature leaves of some deciduous tree seedlings. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v.30, n.2, p.133-142, 1989.
- INOUE, M.T. A auto-ecologia do gênero *Cedrela*: efeitos na fisiologia do crescimento no estágio juvenil em função da intensidade luminosa. **Floresta**, v.6, n.2, p.58-61, 1977.
- INOUE, M.T. **Fundamentos ecofisiológicos para a silvicultura de *Cedrela* spp.** Curitiba, 1978: 91p. (Tese - Professor) - Universidade Federal do Paraná.
- INOUE, M.T. Bases ecofisiológicas para a silvicultura de espécies nativas. In: INOUE, M.T.; REICHMANN NETO, F.; CARVALHO, P.E.R.; TORRES, M.A.V. **A silvicultura de espécies nativas**. Curitiba: FUPEF, 1983. p.1-18.
- INOUE, M.T. Efeito persistente da adubação com nitrogênio e magnésio sobre o conteúdo de pigmentos em acículas de *Picea abies*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (7.: 1993: Curitiba). **Anais...** São Paulo: SBS / SBEF, 1993. p.244-246.
- INOUE, M.T.; CONEGLIAN, S.J.G. A poluição urbana e seu efeito sobre o conteúdo de clorofila em *Ligustrum lucidum* da arborização de Curitiba, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL (3.: 1991: Viçosa). **Anais...** Viçosa: UFV, 1991.
- INOUE, M.T.; GALVÃO, F.; TORRES, D.V. Estudo ecofisiológico sobre *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Fotossíntese em dependência da luz no estágio juvenil. **Floresta**, v.10, n.1, p.5-9, 1979.
- JACOBS, M. **The tropical rain forest: a first encounter**. Berlin: Springer Verlag, 1988. 295p.
- JAGOE, R.B. Beneficial effects of some leguminous shade trees on grassland in Malaya. **Malaya Agricultural Journal**, v.32, n.2, p.77-91, 1949.

- JESCHKE, W.D. Ionic relations of leaf cells. In: LÜTTGE, U., PITMAN, M.G. (Eds.) **Transport in plants II, Part B, Tissues and organs**. New York: Springer-Verlag, 1976. p.160-194. (Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, 2).
- JONES, R.H.; McLEOD, K.W. Growth and photosynthesis response to a range of light environments in chinese tallowtree a caroline ash seedlings. **Forest Science**, v.36, n.4, p.851-862, 1990
- KANG, B.T. Alley cropping-soil productivity and nutrient recycling. **Forest Ecology and Management**, v.91, p.75-82, 1997.
- KANG, B.T.; SALAKO, F.K.; AKOBUNDU, I.O.; PLEYSIER, J.L.; CHIANU, J.N. Amelioration of a degraded Oxic Paleustalf by leguminous and natural fallows. **Soil Use and Management**, v.13, p.130-135, 1997.
- KARLIN, U.O.; AYERSA, R. O programa da algaroba na República Argentina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROA (1.: 1982: Natal). **Anais...** Natal: EMPARN, 1982. p.146-197. (EMPARN, Documentos, 7).
- KASIM, K.; DENNETT, M.D. Effects of shading and plant density on leaf growth of *Vicia faba*. **Annals of Applied Biology**, v.109, n.3, p.627-638, 1986.
- KASS, D.L. Agroforesteria en el Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza (CATIE). In: REUNIÓN DE LA RED LATINOAMERICANA DE COOPERACIÓN TÉCNICA EN SISTEMAS AGROFORESTALES Y DE CONTITUICIÓN DE LA RED COLOMBIANA EN EL TEMA (1991: Bogotá). **Memoria...** Santiago: Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe, 1992. p.62-82.
- KATER, L.J.M.; KANTE, S.; BUDELMAN, A. Karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) associated with crops in South Mali. **Agroforestry Systems**, v.18, n.2, p.89-105, 1992.
- KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Forage quality responses of C3 and C4 perennial grasses to shade. **Crop Science**, v.33, n.4, p.831-837, 1993.
- KIGEL, J.; KOLLER, D. Analysis of the control of development in *Oryzopsis miliacea* by the light environment. **Journal of Experimental Botany**, v.21, n.69, p.1003-1016, 1970.
- KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALLARDY, S.G. **The physiological ecology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 1991. 657p.
- KRAMER, P.J. KOZLOWSKI, T.T. **Physiology of woody plants**. New York, Academic Press, 1979. 811p.

- KWESIGA, F.R.; GRACE, J.R.; SANDFORD, A.P. Some photosynthetic characteristics of tropical timber trees as affected by light regime during growth. **Annals of Botany**, n.58, p.23-32, 1986.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 1986. 319p.
- LEE, D.W. Simulating forest shade to study the development ecology of tropical plants: juvenile growth in three vines in India. **Journal of Tropical Ecology**, v.4, p.281-92, 1988.
- LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. New York, Academic Press, 1972. 607p.
- LI, F.D.; FU, D.L.; WANG, B.P. Canopy photosynthesis of wheat crops and its relationship with yield in the inter-cropping system of *Paulownia*-wheat. **Journal of Beijing Forestry University**, v.20, n.3, p.108-114, 1998.
- LIMA, P.C.F. **Comportamento de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit comparado com *Prosopis juliflora* (SW) DC e *Eucalyptus alba* Reinw ex Blume em Petrolina (PE), região semi-árida do Brasil**. Curitiba, 1982. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.
- LIMA, P.C.F. Tree productivity in the semiarid zone of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.16, n.1-4, p.5-13, 1986
- LIMA, P.C.F. Produção de vagens de algaroba. **Revista da Associação Brasileira de Algaroba**, v.1, n.2, p.151-170, 1987.
- LIMA, P.C.F. *P. juliflora* management at the Brazilian Northeast. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2.: 1986: Recife). **The current state of knowledge on *Prosopis juliflora***. Rome: FAO, 1988. p.443-450.
- LIMA, P.C.F. **Comportamento silvicultural de espécies de *Prosopis*, em Petrolina- PE, região semi-árida brasileira**. Curitiba, 1994, 110p. Tese (Doutorado) – Escola de Florestas - Universidade Federal do Paraná.
- LIMA, P.C.F.; DRUMOND, M.A.; SOUZA, S.M. de; LIMA, J.L. de; Inventário florestal da Fazenda Canaã. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (3.: 1978: Manaus). **Silvicultura**, v.2, n.14, p.398, 1978.
- LOACH, K. Shade tolerance in tree seedlings. I. Leaf photosynthesis and respiration in plants raised under artificial shade. **New Phytologist**, n.66, p.607-621, 1967.

- LOURENÇO, R.S.; MEDRADO, M.J.S. **Cobertura morta na produção da erva-mate**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1998. 15p. (EMBRAPA-CNPQ. Circular Técnica, 30).
- LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L.; HESLEHURST, M.R. Studies on the productivity of tropical pasture plants. V. Effect of shading on growth, photosynthesis and respiration in two grasses and two legumes. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.25, n.3, p.425-433, 1974.
- LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L. Photosynthesis of tropical pasture plants. I. Illuminance, carbon dioxide concentration, leaf temperature and leaf air vapour pressure difference. **Australian Journal of Biological Sciences**, v.24, n.2, p.449-470, 1971.
- LUGO, K.T. **Growth of trees seedlings as affected by light intensity V. White ash, beech, eastern hemlock, and general conclusions**. Ottawa: Dept. of the Environment Canadian For. Service, 1973. 12p. (Publ., 1323).
- MAGALHÃES, A.C.N. Fotossíntese. In: FERRI, M.G. (coord.), **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EPU, Editora da Universidade de São Paulo. v.1, p.117-163, 1979.
- MAHECHA, L.; ROSALES, M.; MOLINA, C.H.; MOLINA, E.J. **Experiencias en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*, *Cynodon plectostachyus* y *Prosopis juliflora* en el valle del Cauca, Colombia**. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en latinoamérica, 1998. 11p. FAO AGROFOR1: Artículo #20: CIPAV – El Hatco. Enviado por Mauricio Rosales: mauro arroba cipav.org.co., em 03 fev. 1999.
- MALDONADO, L.J. *Prosopis* in Mexico. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2.: 1986: Recife). **The current state of knowledge on *Prosopis juliflora***. Rome: FAO, 1988. p.153-162.
- MARQUES, L.C.T. **Comportamento inicial de paricá, tatajuba e eucalipto em plantio consorciado com milho e capim marandú, em Paragominas, Pará**. Viçosa, 1990, 92p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTIN, C.E.; WARNER, D.A. The effects of dessication on concentrations and a/b ratios of chlorophyll in *Leucobryum glaucum* and *Thuidium delicatulum*. **New Phytologist**, n.96, p.545-550, 1984.

- MAYDELL, H.F. von. **Tree and shrub species for agroforestry systems in Sahelian zone of Africa**. Hamburg: [s. n.] 1978. 19p. Apresentado no Word Forestry Congress (8.: 1978: Jakarta).
- MAYLAND, H.F; GRUNES, D.L. Shade-induced grass tetany pronechemical changes in *Agropyron desertorum* and *Elymus cinereus*. **Journal of Range Management**, v.27, n.3, p.189-201, 1974.
- McEWEN, L.C.; DIETZ, D.R. Shade effects on chemical composition of herbage in the Black Hills. **Journal of Range Management**, v.18, n.4, p.184-190, 1965.
- MEKONNEN, K.; BURESH, R.J.; JAMA, B. Root and inorganic nitrogen distributions in sesbania fallow, natural fallow and maize fields. **Plant and Soil**, v.188, p.319-327, 1997.
- MENDES, B.V. Potencial idade de utilização da algarobeira. **Silvicultura**, v.37, p.26-27, 1984.
- MENDES, B.V. Potential offered by *Prosopis juliflora* (SW) DC in the Brazilian semiárid region. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2.: 1986: Recife). **The current state of knowledge on *Prosopis juliflora***. Rome: FAO, 1988. p.61-62.
- MILFORD, R.; MINSON, D.J. The relation between the crude protein content and digestible crude protein content of tropical pasture plants. **Journal of the British Grassland Society**, v.20, n.2, p.177-179, 1966.
- MITCHELL, K.J. Influence of light and temperature on the growth of ryegrass (*Lolium* spp). I. Pattern of vegetative development. **Physiology Plantarum**, v.6, n.1, p.21-46, 1953.
- MITCHELL, K. J. Growth of pasture species. I. Short rotation and perennial ryegrass (*Lolium perenne*). **New Zealand Journal of Science and Technology**, v.36, n.2, p.193-206, 1955.
- MITCHELL, R.L. **Crop growth and culture**. Ames, The Iowa State University Press, 1979. 349p.
- MORAES, G.J. de; RAMALHO, F.S.; SOUZA, S.M.; SILVA, C.M.M. de; LIMA, P. C. F. **Insetos associados a sementes de forrageiras e essencias florestais no Trópico Semi-Árido do Brasil**. Petrolina: EMBRAPA. CPATSA, 1981. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em Andamento, 11).
- MORDELET, P.; ABBADIE, L.; MENAUT, J.C. Effects of tree clumps on soil characteristics in a humid savanna of West Africa (Lamto, Côte d'Ivoire). **Plant and Soil**, v.153, p.103-111, 1993.

- MORITA, O.; GOTO, M.; EHARA, H. Growth and dry matter production of pasture plants grown under reduced light conditions of summer season. **Bulletin of the Faculty of Bioresources, Mie University**, v.12, n.1, p.11-20, 1994.
- MOTT, G.O. Evaluating forage production. In: HUGHES, H.D.; METCALFE, D.S. **Forages**. 2. ed. Ames: The Iowa State University Press, 1966. p.108-118.
- MUCHOVEJ, J.J.; CAMPELO, C.R.; SANTOS, J.M. dos; CRUZ FILHO, J. da. Pod spot and seed blight: a new disease of mesquite caused by *Macrophomina phaseolina*. **Journal of Phytopathology**, v.127, n.2, p.173-176, 1989.
- MUOGHALU, J.I.; ISICHEI, A.O. Effect of tree canopy on grass species in nigerian guinea savanna. **Tropical Agriculture**, v.72, n.1, p.97-101, 1995.
- MURGUEITIO, E.; CALLE, Z. **Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia**. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en latinoamérica, 1998. 18p.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Firewood crops: shrub and tree species for energy production**. Washington, 1980. 237p.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Especies para leña: arbustos y árboles para producción de energía**. Turrialba: CATIE / NAS, 1984. 344p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Subcommittee on beef cattle nutrition (Washington, D.C). **Nutrient requeriments of beef cattle**. 5.ed. Washington: National Academy of Science, 1976. 56p.
- NAVES, V.L. **Crescimento, distribuição de matéria seca, concentração de clorofilas e comportamento estomático de mudas de três espécies florestais submetidas a diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa**. Lavras, 1993. 76p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- NOBRE, F.V. A algarobeira no Nordeste brasileiro, especialmente no Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROBIA (1.: 1982: Natal). **Anais...** Natal: EMPARN, 1982. p.257-282. (EMPARN. Documentos, 7).
- NYBERG, G.; HÖGBERG, P. Effects of young agroforestry trees on soils in on-farm situations in western Kenya. **Agroforestry Systems**, v.32, p.45-52, 1995.

- NYGREN, M.; KELLOMAKI, S. Effect of shading on leaf structure and photosynthesis in young birches, *Betula pendula* Roth. *B. pubescens* Ehrh. **Forest Ecology and Management**, n.7, p.119-132, 1983/1984.
- OLIVA, M.A. **Ecofisiologia Vegetal**. Viçosa, UFV/MG, (s.d.). 261p.
- OLIVEIRA, E.B. Considerações sobre análise estatística na pesquisa de sistemas agroflorestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS (1.: 1994: Porto Velho). **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. p.457-462. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 27).
- OLIVEIRA, M.C. de. **O capim buffel nas regiões secas do Nordeste**. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1981. 19p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 5).
- OLIVEIRA, M.C. de. **Capim buffel: produção e manejo nas regiões secas do Nordeste**. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1993. 18p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 27).
- OLIVEIRA, M.C. de; SILVA, C.M.M. de S.; ALBUQUERQUE, S.G. de; BERNARDINO, F.A. **Comportamento de gramíneas forrageiras sob condições de pastejo intensivo por bovinos em regiões semi-áridas do Nordeste do Brasil**. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1988. 15p. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 56).
- OLIVEIRA, V.R.; PIRES, I.E. Pollination efficiency of *Prosopis juliflora* (Sw)DC in Petrolina, Pernambuco. IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2.: 1986: Recife). **The current state of knowledge on Prosopis juliflora**. Rome: FAO, 1988. p.233-239.
- OSWALD, R.; ZIEGLER, R. Zur Frühdiagnose und Klassifizierung immissionsbedingter Schäden an Buchen. **Allgemeine Forst Zeitschrift**, n.26, p.698-700, 1986.
- OVALLE, C.; AVENDAÑO, J. Influencia del árbol sobre la vegetación pastoral en los espinales (*Acacia caven*), de la zona mediterránea de Chile. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS (1.: 1994: Porto Velho). **Anais...** Colombo: Embrapa-CNPQ, 1994. p.151-164.
- OVALLE, C.; AVENDAÑO, J. Utilización silvopastoral del espinal. I. Influencia del espinillo (*Acacia caven* Mol.) sobre la productividad de la pradera natural. **Agricultura Técnica**, v.44, n.4. p.339-345, 1984.
- PAYNE, W.J.A. A review of the possibilities for integrating cattle and tree crop production systems in the tropics. **Forest Ecology and Management**, v.13, n.1, p.1-36, 1985.

- PINNEY, A. Studying the single tree. **Agroforestry Today**, v.1, n.3, p.4-6, 1989.
- PORFÍRIO DA SILVA, V. Sistema silvipastoril (Grevílea + Pastagem): uma proposição para o aumento da produção do arenito caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS (1.: 1994: Porto Velho). **Anais...** Colombo: Embrapa-CNPQ, 1994. p.291-297.
- PORFÍRIO DA SILVA, V.; VIEIRA, A.R.R.; CARAMORI, P.H.; BAGGIO, J.A. Sombras e ventos em sistema silvipastoril no noroeste do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS (2.: 1998: Belém). No contexto da qualidade ambiental e competitividade: **Resumos expandidos**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1998. p.215-218.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico de pastagens em regiões tropicais e subtropicais**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1986. 184p.
- RAMAKRISHNA, Y.S.; SASTRI, A.S.R.A.S.; MUTHANNA, K.D.; MUTHANA, K.D. A note on the importance of radiant energy penetration in silvo-pastoral systems. **Myforest**, v.17, n.1, 1981.
- RAMÍREZ, C. Prioridades de investigación en fijación de nitrógeno en los sistemas agroforestales. In: BEER, J.W.; FASSBENDER, H.W.; HEUVELDOP, J. (Eds), **Avances en la investigación agroforestal**. Turrialba: CATIE / GTZ, 1985. p.253-263.
- RAMÍREZ, H. **Evaluación de dos sistemas silvopastoriles integrados por *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora***. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DE SISTEMAS SOSTENIBLES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA (1997: Cali). Cali: CIPAV, 1997. 10p.
- RAO, M.R.; NAIR, P.K.R.; ONG, C.K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v.38, n.1-3, p.3-50, 1997.
- RAWSON, H.M.; HINDMARSH, J.H. Light, leaf expansion and seed yield in sunflower. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.10, n.1, p.25-30, 1983.
- REISSMANN, C.B. **Variação anual dos nutrientes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em função da época de amostragem**. Curitiba, 1976, 70p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.
- RHOADES, C. Seasonal pattern of nitrogen mineralization and soil moisture beneath *Faidherbia albida* (syn *Acacia albida*) in central Malawi. **Agroforestry Systems**, v.29, p.133-145, 1995.

- RHOADES, C.C. Single-tree influences on soil properties in agroforestry: lessons from natural and savana ecosystems. **Agroforestry Systems**, v.35, p.71-94, 1997.
- RIBASKI, J. Comportamento da algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC) e do capim-búfel (*Cenchrus ciliaris*) em plantio consorciado na região de Petrolina, PE. **Revista da Associação Brasileira de Algaroba**, v.1, n.2, p.171-225, 1987.
- ROCHA, R.G.A. *Prosopis juliflora* as a source of food and medicine for rural inhabitants in Rio Grande do Norte. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2.: 1986: Recife). **The current state of knowledge on *Prosopis juliflora***. Rome: FAO, 1988. p.397-404.
- RODRIGUEZ, F.R.A. **Producción de biomasa de poró gigante (*Erythrina poeppigiana*) y king grass (*Pennisetum purpureum* x *P. thyphoides*) intercalados, en función de la densidad de siembra y la frecuencia de poda del poró**. Turrialba, 1985. 70p. Tesis (Mestrado) - CATIE.
- RONCO, F. Influence of light intensity on survival of planted Engelmann spruce. **Forest Science**, v.16, n.3, p.331-339, 1970.
- ROY, M.M. *Hardwickia binata* for silvopastoral systems in India. **Agroforestry Today**, v.8, n.4, p.12-13, 1996.
- SALVIANO, L.M.C. **Programa de melhoramento e manejo de pastagens PROPASTO / NORDESTE: relatório técnico anual - 1980**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1981. 110p. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 4).
- SALVIANO, L.M.C. **Leucena: fonte de proteína para os rebanhos**. Petrolina, PE., EMBRAPA-CPATSA, 1984. 16p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 11).
- SALVIANO, L.M.C.; SOARES, J.G.G.; OLIVEIRA, M.C. de. **Desempenho de novilhos em pastagem de capim buffel sob diferentes taxas de lotação**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1981. 6p. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em Andamento, 12).
- SALVIANO, L.M.C.; OLIVEIRA, M.C. de.; SOARES, J.G.G.; ALBUQUERQUE, S.G. de.; GUIMARÃES FILHO, C. Diferentes taxas de lotação em áreas de caatinga. I. Desempenho animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA (19.: 1982: Piracicaba). **Anais...** Piracicaba: SBZ, 1982. p.365-366.
- SAMARAKOON, S.P.; WILSON, J.R.; SHELTON, H.M. Growth, morphology and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. **Journal of Agriculture Science**, v.114, n.2, p.161-169, 1990 a.

- SAMARAKOON, S.P.; SHELTON, H.M.; WILSON, J.R. Voluntary feed intake by sheep and digestibility of shaded *Stenotaphrum secundatum* and *Pennisetum clandestinum* herbage. **Journal of Agriculture Science**, v.114, n.2, p.143-150, 1990 b.
- SÁNCHEZ, M.D. **Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en latinoamérica tropical**. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en latinoamérica, 1998. 11p. FAO AGROFOR1: Artículo #1: Manuel Sánchez. Enviado por Mauricio Rosales: mauro arroba cipav.org.co., em 03 fev. 1999.
- SANCHEZ, P.; PALM, C. Nitrogen and phosphorus in African soils: what role for agroforestry? **Agroforestry Today**, v.8, n.4, p.14-16, 1996.
- SANTOS, E.S. dos. Quebra de Dormência em Sementes de Algaroba. **Revista da Associação Brasileira de Algaroba**, v.1, n.2, p.101-149, 1987.
- SANTOS, S.H.M. dos.; SOARES, A.M.; OLIVEIRA, L.E.M.; COSTA, J.R.L.; MELO, J.L. de. Efeitos de diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa sobre o crescimento e o teor de clorofilas em plantas juvenis de espécies florestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL (5.: 1995: Lavras). **Resumos**. Lavras: UFLA, 1995. p.344.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.
- SCHENK, W. The relationship between light distribution and chlorophyll content of the bark and leaves of shoots of woody plants. **Planta**, v.41, n.3, p.290-310, 1952.
- SCHREINER, H.G. Tolerância de quatro gramíneas forrageiras a diferentes graus de sombreamento. **Boletim da Pesquisa Florestal**, v.15, p.61-72, 1987.
- SEITZ, R.A. Estudo da variação da radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar no interior de uma mata de *Araucaria angustifolia* em relação ao terreno livre. **Floresta**, Curitiba, v.7, n.2, p.36-45, 1976.
- SHARMA, B.M.; GLUPTA, J.P.; RATHORE, S.S. Forage yields of *Cenchrus ciliaris* and *Lasiurus sindicus* grown in association with trees under arid conditions. **Indian Forester**, v. 124, n.11, 1998.

- SHELTON, H.M.; HUMPHREYS, L.R.; BATELLO, C. Pastures in the plantations of Asia and Pacific: performance and prospects. **Tropical Grasslands**, v.21, n.4, p.159-168, 1987.
- SHUKLA, A.K.; MISRA, P.N. Improvement of sodic soil under tree cover. **Indian Forester**, v.119, n.1, p.43-52, 1993.
- SIAVOSH, S.; RIVERA, J.M.; GÓMEZ, M.E. **Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia**. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en latinoamérica, 1998. 17p. FAO AGROFOR1: Artículo #6: Siavosh et al. Enviado por Mauricio Rosales: mauro arroba cipav.org.co., em 03 fev. 1999.
- SIAW, D.E.K.A.; KANG, B.T.; OKALI, O.U.U. Alley cropping with *Leucaena leucocephala* (Lam.) De WIT and *Acioa barteri* (Hook. f.) Engl. **Agroforestry Systems**, v.14, p.219-231, 1991.
- SILVA, C.M.M. de S. Avaliação do gênero *Cenchrus* no CPATSA. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL (3.: 1986: Campo Grande). **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.53-58.
- SILVA, C.M.M. de S.; CARVALHO FILHO, O.M. de; LUZ, M.C.P. da. **Bibliografia sinalética sobre forrageiras de regiões semi-áridas; capim buffel**. Brasília, DF., EMBRAPA-DID, 1981. 233p.
- SILVA, C.M.M. de S.; OLIVEIRA, M.C. de; ALBUQUERQUE, S.G. de. Avaliação da produtividade de treze cultivares de capim buffel na região semi-árida de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, n.5, p.513-520, 1987.
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos, métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 1990.
- SILVA, F.B.R. e; RICHE, G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUZA NETO, N.C. de; BRITO, L.T. de L.; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B. da; SILVA, A.B. da; SILVA, J.C. de A. da. **Zoneamento agroecológico do Nordeste**; diagnóstico do quadro natural e socioeconômico. Brasília: EMBRAPA-CPATSA / EMBRAPA-SNLCS, 1993.
- SILVA, H.D. da.; LIMA, P.C.F. Tipos de maceta para la producción de plantas de algarroba. In: ENCUENTRO REGIONAL DE CIID, AMÉRICA LATINA y EL CARIBE (2.: 1985: Santiago). **Actas**: Forestación en zonas Áridas y Semi-Áridas. Santiago: CIID / INFOR, 1985. p.97-104.

- SILVA, J.L.S.; SAIBRO, J.C.; GARCIA, R.; COUTO, L. Desempenho animal e de pastagem de inverno em sistema silvopastoril com eucalipto no ano de seu estabelecimento no RS. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA (35.: 1998: Botucatu). **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998. p.191-193.
- SILVA, M.A. Taxonomy and distribution of the genus *Prosopis* L. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2.: 1986: Recife). **The current state of knowledge on *Prosopis juliflora***. Rome: FAO, 1988 a. p.177-185.
- SILVA, S. *Prosopis juliflora* (Sw) DC in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROSOPIS (2.: 1986: Recife). **The current state knowledge on *Prosopis juliflora***. Rome: FAO, 1988 b. p.29-58.
- SINGH, G.; SINGH, N.T.; ABROL, I.P. Agroforestry techniques for the rehabilitation of degraded salt-affected lands in India. **Land Degradation and Rehabilitation**, v.5, n.3, p.223-242, 1994
- SINGH, M.; OGREN, W.L.; WIDHOLM, J.M. Photosynthetic characteristics of several C3 and C4 plant species grown under different light intensities. **Crop Science**, v.14, n.4, p.563-566, 1974.
- SMITH, M.A.; WHITEMAN, P.C. Evaluation of tropical grasses in increasing shade under coconut canopies. **Experimental Agriculture**, v.19, n.2, p.153-161, 1983.
- SMITH, R.L.; SCHANK, S.C.; LITTELL, R.C. The influence of shading on associative N₂ fixation. **Plant and Soil**, v.80, n.1, p.43-52, 1984.
- SNYDER, L.A.; HERNÁNDEZ, A.R.; WARMKE, H.E. The mechanism of apomixis in *Pennisetum ciliare*. **Botanical Gazette**, v.116, p.209-221, 1955.
- SOUZA, L.J.B. de. **Fotomorfose e crescimento de *Cedrela fissilis* Vell. no viveiro e no plantio de enriquecimento em linhas**. Curitiba, 1981, 117p. Tese (Mestrado) - Escola de Florestas - Universidade Federal do Paraná.
- SOUZA, R.F.; TENÓRIO, Z. Potencialidade da algaroba no Nordeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROBA (1.: 1982: Natal). **Anais...** Natal: EMPARN, 1982. p.198-216. (EMPARN. Documentos, 7).
- SOUZA, R.P.; VÁLIO, I.F.M. Influência de sombreamento sobre a atividade fotossintética em *Esenbeckia leiocarpa*, *Myroxylon peruiferum* e *Hymenaea courbaril*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL (5.: 1995: Lavras). **Resumos**. Lavras: UFLA, 1995. p.306.

- SOUZA, S.M. de. **Vegetative propagation of *Prosopis alba* cuttings as influenced by the stock plant numeral nutrition and misting procedures**. Kingsville, 1986, 121p. Tese (Mestrado) - Texas A & I University.
- SOUZA, S.M. de; NASCIMENTO, C.E.S. **Propagação vegetativa de algaroba através de estaquia**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1984. 3p. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em Andamento, 27).
- SPURR, S.H. **Forest ecology**. New York: Ronald Press Co., 1964. 352p.
- SPURR, S.H.; BARNES, B.V. **Forest ecology**. 3.ed. New York: J. Willey, 1980. 687p.
- SRIVASTAVA, K. L.; SMITH, G.D.; JANGAWAD, L.S. Compaction and shading effects on surface cracking in a vertisol. **Soil and Tillage Research**, v.13, n.2, p.151-161, 1989.
- STRUIK, P.C. The effects of short and long shading, applied during different stages of growth, on the development, productivity and quality of forage maize (*Zea mays* L.). **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.31, n.2, p.101-124, 1983.
- STUTZ, J.C.; FREY, D.R. Altered light levels on growth, fruiting and leaf characteristics of natural stands of *Ilex opaca*. **HortScience**, v.5, n.1, p.94-96, 1980.
- TAVARES, S.; PAIVA, F.A.F.; TAVARES, E.J. de S.; CARVALHO, G.H. de; LIMA, J.L.S. de. Inventário florestal de Pernambuco - estudo preliminar das matas remanescentes dos municípios de Ouricuri, Bodocó, Santa Maria da Boa Vista e Petrolina. **Boletim de Recursos Naturais**, v.8, p.149-193, 1970.
- THORNBUR, J.P. Chlorophyll-proteins: light-harvesting and reaction center components of plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.26, p.127-58, 1975.
- TIAN, G.; KANG, B.T.; BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: decomposition and nutrient release. **Soil Biology and Biochemistry**, v.24, p.1051-1060, 1992.
- TIBBITTS, T.W.; BOTTENBERG, G. Growth of lettuce under controlled humidity levels. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v.101, n.1, p.70-73, 1976.

- TINOCO, C.O.; VASQUEZ-YANES, C. Diferencias en poblaciones de *Piper hispidum* bajo condiciones de luz contrastante en una selva perenifolia. In: GOMEZ-POMPA, A.; AMO, R.S. (Eds.) **Investigaciones sobre la regeneración de Selvas Altas en Veracruz, México**. México: Alhambra Mexicana, 1985. t.2, p.267-281.
- TODD, R.W.; KLOCKE, N.L.; HERGERT, G.W.; PARKHURST, A.M. Evaporation from soil influenced by crop shading, crop residue and wetting regime. **American Society of Agricultural Engineers**, v.34, n.3, p.461-466, 1991.
- VALDÍVIA, S. Assentamento e desenvolvimento rural nas zonas marginais da costa norte do Peru; Piura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGARROBA (1.: 1982: Natal). **Anais...** Natal: EMPARN, 1982. p.90-111. (EMPARN. Documentos, 7).
- VALENZUELA, H.C.; O'HAIR, S.K.; SCHAFFER, B. Shading, growth and dry matter partitioning of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott). **Journal of American Society of Horticultural Science**, East Melbourne, v.116, n.6, p.1117-1121, 1991.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.
- WAIDYANATHA, U.P.S.; WIJESINGHE, D.S.; STAUSS, R. Zerograzed pasture under immature *Hevea* rubber: productivity of some grasses and grass-legume mixtures and their competition with *Hevea*. **Tropical Grasslands**, v.18, n.1, p.21-26, 1984.
- WARD, G.M. Potassium metabolism of domestic ruminants. A review. **Journal Dairy Science**, v.49, n.3, p.268-276, 1966.
- WETSELAAR, R. Nitrogen cycling in a semiarid region of tropical Australia. In: ROSSWALL, T. (Ed.), **Nitrogen cycling in west african ecosystems**. Estocolmo: Royal Swedish Academic Science, 1980. p.157-170.
- WHATLEY, J.M.; WHATLEY, F.R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo: EDUSP, 1982. 101p. (Temas de Biologia, 30).
- WILD, D.W.M.; WILSON, J.R.; STÜR, W.W.; SHELTON, H.M. Shading increases yield of nitrogen-limited tropical pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS (28.: 1993: Nice). **Proceedings...** Nice: 1993. p.2060-2062.

- WILSON, J.R. Ecophysiological constraints to production and nutritive quality of pastures under tree crops. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK-TREE CROPPING WORKSHOP (1988: Serdang). **Proceedings...** Rome: FAO, 1988.
- WILSON, J.R. Agroforestry and soil fertility - the eleventh hypothesis: shade. **Agroforestry Today**, Nairobi: ICRAF, v.2, n.1, p. 14-15, 1990.
- WILSON, J.R.; CATCHPOOLE, V.R.; WEIER, K.L. Stimulation of growth and nitrogen uptake by shading a rundown green panic pasture on brigalow clay soil. **Tropical Grasslands**, v.20, n.3, p.134-143, 1986.
- WILSON, J.R.; HILL, K.; CAMERON, D.M. The growth of *Paspalum notatum* under shade of *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. **Tropical Grasslands**, v.24, n.1, p.24-28, 1990.
- WILSON, J.R.; WONG, C.C. Effects of shade on some factors influencing nutritive quality of green panic and siratro pastures. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.33, n.8, p.937-949, 1982.
- WOLTERS, G.L. Longleaf uniola and spike uniola require shade. **Journal of Range Management**, v.27, n.1, p.45-47, 1974.
- WONG, C.C. Shade tolerance of tropical forages. In: SHELTON, H.M.; STÜR, W.W. Forages for plantation crops. **Proceedings...** Sanur Beach: ACIAR, 1991. p.64-69.
- WONG, C.C.; WILSON, J.R. Effects of shading on the growth and nitrogen content of green panic and siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.31, n.3, p.269-285, 1980.
- YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. Wallingford: CAB International / Nairobi: UK /ICRAF, 1997.
- ZAKIA, M.J.B.; PAREYN, F.G.; BURKART, R.N.; ISAIA, E.M.B.I. Incremento médio anual de algarobais no Seridó - RN. **IPA News**, n.8, p.1-4, 1989.